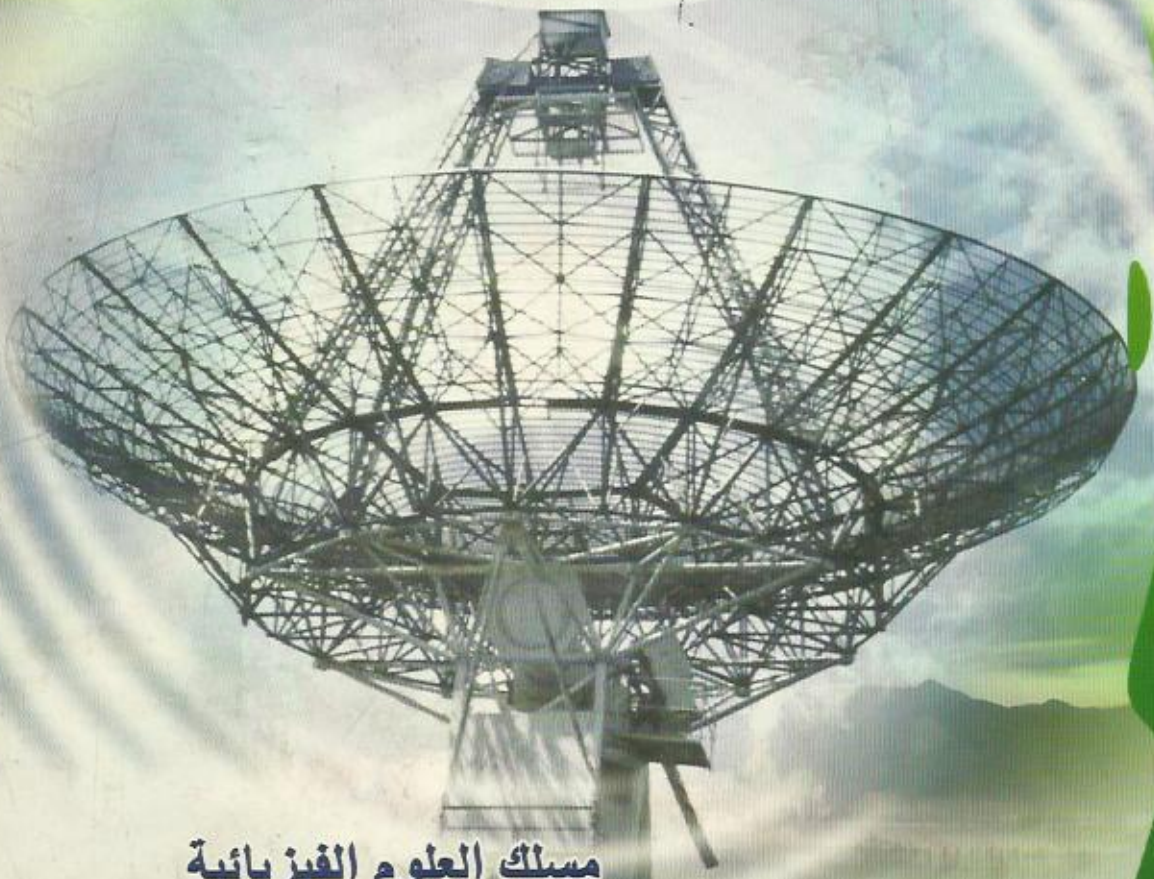
مصادق عليه من لدن وزارة التربية الوطنية
والتعليم العالي وتكوين الأطر والبحث العلمي
قطاع التربية الوطنية

المسار
الفيزياء

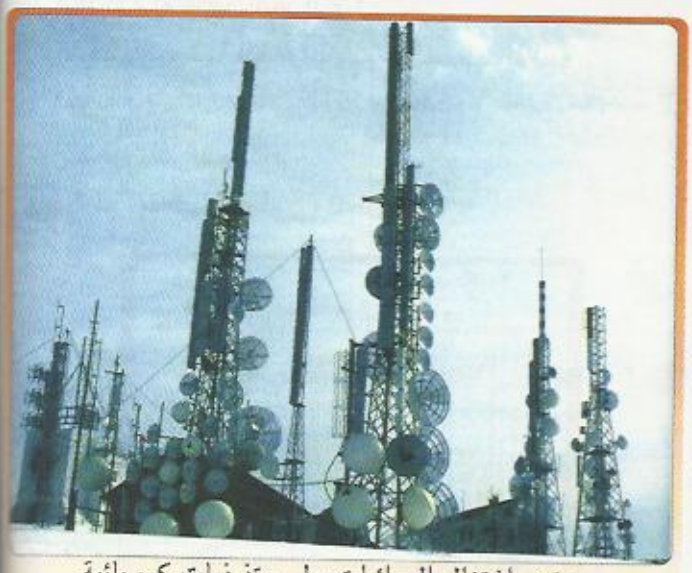


مسلك العلوم الفيزيائية
مسلكا العلوم الرياضية (أ) و (ب)

السنة الثانية من سلك البكالوريا

الجزء الثالث : الكهرباء Electricité

البرق ظاهرة كهربائية طبيعية



يعتمد اشتغال الهوائيات على متذبذبات كهربائية

امتدادات مرتقبة وتقاطعات مع مواد دراسية أخرى

الفيزياء والكيمياء : المتذبذبات الميكانيكية الحرة والقسرية ـ الرنين الميكانيكي ـ الأعمدة الكهربائية ـ قياس المواصلة والموصلية.

علوم الحياة والأرض : استهلاك المادة العضوية وتدفق الطاقة ـ المواد المشعة والطاقة النووية .

الرياضيات : الدوال اللوغاريتمية والأسية ـ الاشتقاق ـ الحساب التكاملي ـ المعادلات التفاضلية.

الفلسفة : النظرية والتجربة.

تصميم الجزء الثالث

الوحدة 7 : ثنائي القطب (R,C) .

الوحدة 8 : ثنائي القطب (R,L) .

الوحدة 9 : الذبذبات الحرة في دارة (R,L,C)متوالية.

الوحدة 10 : الذبذبات القسرية في دارة (R,L,C) متوالية.

الوحدة 11 : الموجات الكهرمغنطيسية ونقل المعلومات.

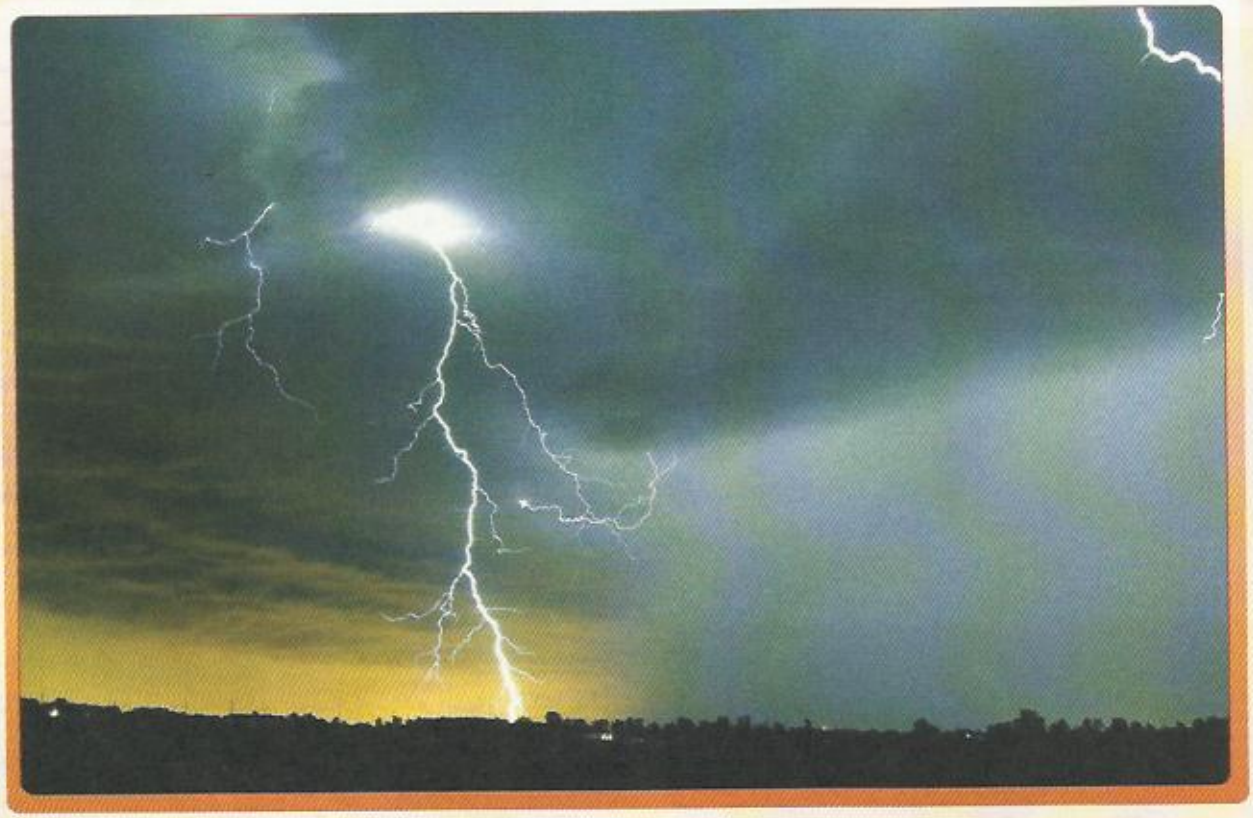
الوحدة 12 : تضمين الوسع.

المكتسبات القبلية

ـ إنجاز تركيب كهربائي انطلاقا من تبيانة؛
ـ قياس شدة التيار والتوتر الكهربائيين؛
ـ قانون إضافية التوترات؛
ـ قانون العقد؛
ـ قانون أوم؛
ـ الطاقة الكهربائية المتبادلة على مستوى مستقبل وعلى مستوى مولد؛
ـ انتقالات الطاقة على مستوى مستقبل.

7 ثنائي القطب (R,C)

Dipôle (R,C)



تحدث ظاهرة البرق نتيجة انتقال الشحن الكهربائية السالبة من الوجه الأسفل للسحب نحو الأرض . تكوّن المجموعة (السحب، الهواء، الأرض) مكثفا كهربائيا، يمكنه تخزين طاقة كهربائية هائلة.

ما المكثف ؟ وماسلوكه في دارة كهربائية ؟

الأهداف

- تعرُّف المكثف ؛
- تعرُّف العلاقتين اللتين تربطان، في الاصطلاح مستقبل :
  - الشحنة الكهربائية وشدة التيار : $i = \frac{dq}{dt}$.
  - الشحنة الكهربائية والتوتر : $q = C.u_c$.
- تعرُّف سعة مكثف ووحدتها ؛
- تعرُّف سعة المكثف المكافىء للتركيب عل التوالي والتركيب على التوازي والفائدة من كل تركيب ؛
- تعرُّف تغيرات التوتر u_c بين مربطي مكثف عندما يخضع ثنائي القطب (R,C) لرتبة توتر ؛
- تعرُّف تعبير ثابتة الزمن τ ؛
- تعرُّف واستغلال تعبير الطاقة المخزونة في مكثف.

نشاط وثائقي

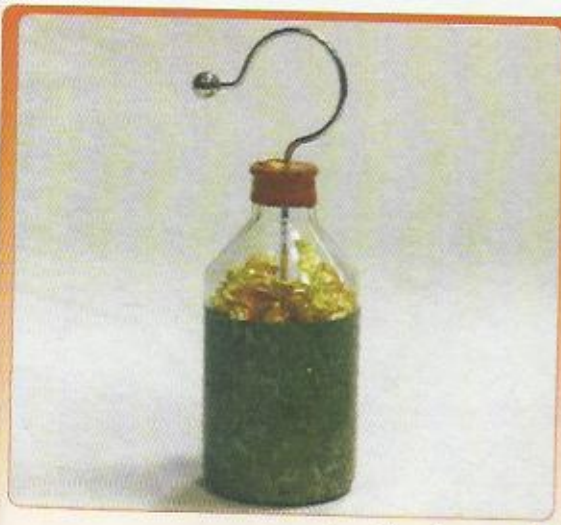
النشاط 1 المكثف الكهربائي

ما المكثف ؟ وما الدور الذي يمكن أن يلعبه في دارة كهربائية ؟

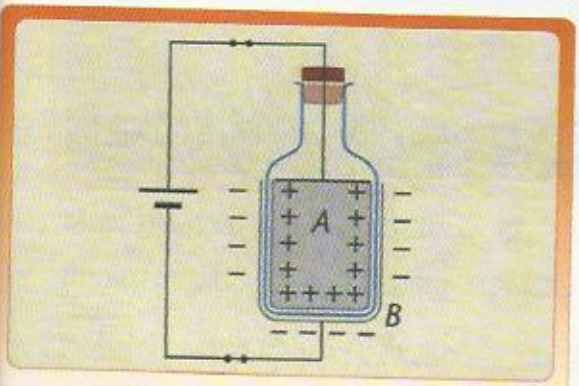
في سنة 1745 م وفي مدينة لايد Leyde بهولندا استطاع الفيزيائي (موشنبروك Pertus Van Musschenbroek) صنع أول مكثف كهربائي، بواسطة قنينة من الزجاج، عرفت في التاريخ باسم " قنينة لايد" وهو جهاز يمكن من تجميع الشحن الكهربائية الساكنة.

حاليا، وكما يبين الشكل 1، تتكون قنينة لايد من قنينة من الزجاج ملفوف عليها على التوالي من الداخل ومن الخارج ورقتان فلزيتان A و B. تسمى الورقتان A و B لبوسي المكثف، والزجاج **الوسط العازل**.

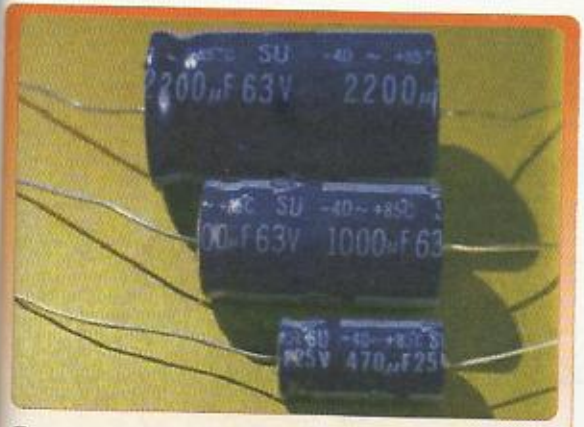
عند ربط لبوسي المكثف بعمود كهربائي (الشكل 2) تنتقل الإلكترونات لتتجمع على اللبوس B، فيحمل هذا الأخير كمية من الكهرباء السالبة q_B، في حين يغادر نفس العدد من الإلكترونات اللبوس A تاركا مكانه شحنا كهربائية موجبة كميتها q_A . توافق هذه الانتقالات مرور تيار كهربائي رغم وجود العازل بين اللبوسين. بعد مدة وجيزة تنتهي انتقالات حملة الشحنة الكهربائية فينعدم التيار الكهربائي، نقول في هذه الحالة إن المكثف قد شحن.



1 قنينة "لايد" أول مكثف



2 شحن قنينة لايد بالكهرباء



3 الإشارة (F) فاراد تميز المكثف وهي وحدة سعته C

استثمار :

1. أذكر مكونات المكثف. ما الخاصية الأساسية للمكثف ؟
2. ما إشارة كميتي الكهرباء q_A و q_B؟ وما العلاقة بينهما ؟
3. أ - ما تأثير المكثف على دارة يمر فيها تيار كهربائي مستمر ؟ ومتى يحدث هذا التأثير ؟
   ب - تحقق من ذلك تجريبيا، بإنجاز دارة كهربائية تضم مكثفا وعمودا وأمبيرمترا وقاطعا للتيار.
4. يعبر عن الطاقة القصوى التي يمكن تخزينها بواسطة مكثف بالعلاقة : $\xi = \frac{1}{2}CU_{max}^2$ ، حيث C سعة المكثف بالفاراد (F).
   أ - احسب الطاقة ξ بالنسبة لمكثفات الشكل 3 ، علما أن التوتر المكتوب على غلاف كل مكثف يمثل أقصى توتر يمكن أن يطبق عليه دون إتلافه.
   ب - ابحث عن تطبيقات أخرى للمكثف.

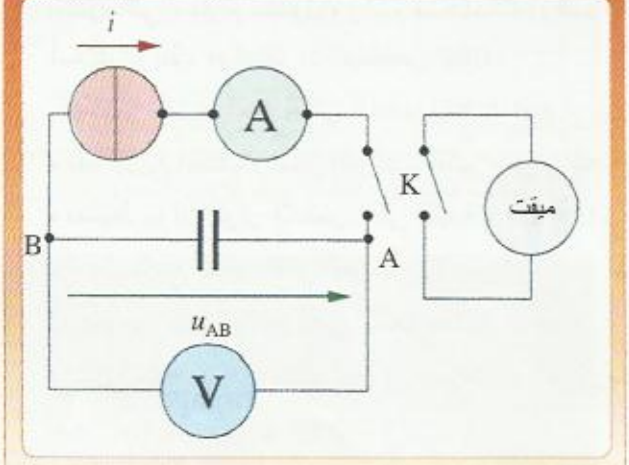
مكثف	condensateur	لبوس	armature	شحنة كهربائية	charge électrique

النشاط 2 شحن مكثف باستعمال مولد مؤمثل للتيار — نشاط تجريبي

عند شحن مكثف بواسطة تيار كهربائي شدته ثابتة، كيف يتغير التوتر u_{AB} بين مربطيه بدلالة الشحنة الكهربائية للبوسيه ؟

العدة التجريبية : مولد مؤمثل للتيار، قاطع التيار مزدوج K ، جهازان متعددا القياس، ميقت ، مكثف سعته 470µF ، أسلاك الربط، برنم مجدول وراسم منحنيات.

تنبيه :
- يجب تحديد مدة شحن المكثف، التي لا يتجاوز خلالها التوتر بين مربطي المكثف، توتر الإتلاف المسجل على غلافه.
- يفرغ المكثف، عند نهاية التجربة تفاديا للصدمات الكهربائية.

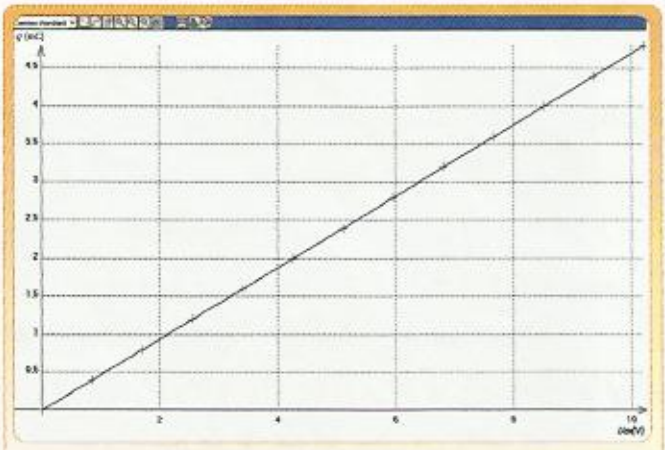


4 تبيانة التركيب التجريبي

- ننجز التركيب الكهربائي الممثل جانبه، حيث يعطي المولد المؤمثل للتيار تيارا كهربائيا شدته I_0 ثابتة وقابلة للضبط.
- نفرغ المكثف بوصل مربطيه بمربطي موصل أومي مناسب، لمدة ثانية واحدة على الأقل.
- نضبط شدة تيار المولد المؤمثل على القيمة $I_0 = 80\mu A$.
- نغلق قاطع التيار الذي يشغل الميقت في نفس الوقت ، ثم نقيس التوتر u_{AB} بين مربطي المكثف كل خمس ثوان.
- ندون النتائج في جدول.

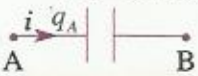
t(s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
u_{AB}(v)	0	0,85	1,7	2,55	3,40	4,25	5,11	5,96	6,81	7,66	8,51
q_A(µC)											

مثال للقياسات المحصّلة


5 منحنى تغيرات q_A بدلالة u_{AB}

استثمار :

تمثل شدة التيار الكهربائي $i(t)$ صبيب الشحنات الكهربائية أي كمية الكهرباء المتنقلة في وحدة الزمن ويعبر عنها بالعلاقة :



$$i = \frac{dq_A}{dt}$$

أ- ما قيمة كمية الكهرباء q_A التي يحملها المكثف عند اللحظة $t = 0$ ؟

ب- بين أنه في لحظة t يكتسب المكثف الشحنة $q_A = I_0 . t$.

2 أضف إلى جدول القياسات، بعد نقله إلى دفترك، خانة الشحنة q_A.

أ- أتمم ملأ الجدول.

ب- مثل المنحنى الممثل لتغيرات q_A بدلالة u_{AB} .

إستنتج أن q_A تتناسب مع التوتر u_{AB} .

3 معامل التناسب بين q_A و u_{AB} ، مقدار فيزيائي يميز المكثف، يسمى **سعة المكثف** ، و يرمز له بالحرف C ، وحدته في النظام العالمي للوحدات هي الفاراد (F).

4 أحسب C وقارنها مع القيمة المدونة على غشاء المكثف.

شحن	charge	صبيب	débit	سعة	capacité	قاطع التيار المزدوج	interrupteur double

النشاط 3 استجابة ثنائي القطب RC لرتبة توتر

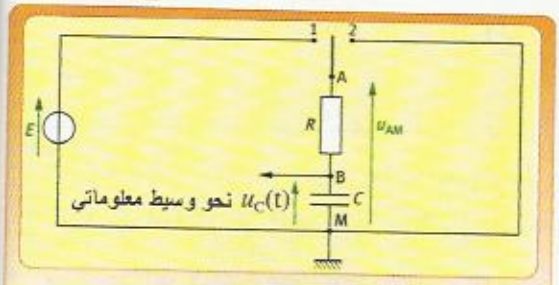
نشاط تجريبي

TP أ ن

ثنائي القطب RC تركيب على التوالي لموصل أومي ومكثف.

كيف يتصرف ثنائي القطب RC عندما تُطبق بين مربطيه رتبة توتر ؟

العدة التجريبية : مولد توتر مستمر قابل للضبط، قاطع التيار الكهربائي ، مكثف سعته 1,5 mF ، موصل أومي مقاومته R =22,0kΩ، حاسوب ، وسيط معلوماتي ، برنم مجدول وراسم منحنيات، راسم التذبذب ذاكراتي ، أسلاك الربط، مولد التردد المنخفض GBF.



6 تركيب تجريبي يمكن من معاينة التوتر u_C بين مربطي المكثف

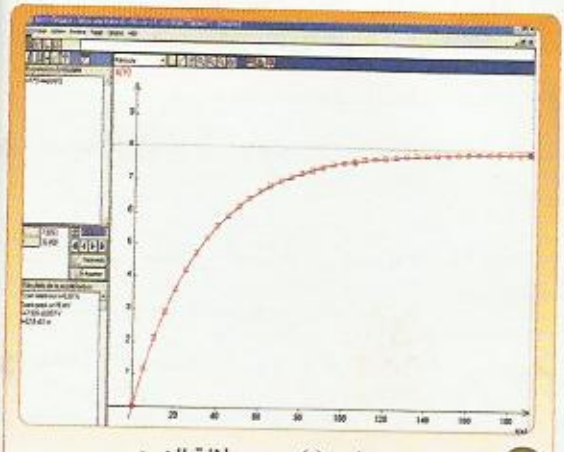
المناولة 1: دراسة ثنائي القطب RC خاضع لرتبة توتر صاعدة

- بعد تفريغ المكثف، ننجز التركيب الكهربائي جانبه.
- نضبط مولد التوتر المستمر على القيمة E = 8,0 V.
- نجعل قاطع التيار K في الموضع (1) فيبدأ الوسيط المعلوماتي بتسجيل قيم التوتر $u_C(t)$ بين مربطي المكثف بدلالة الزمن.
- ننقل النتائج في برنم مجدول وراسم منحنيات كريغريسي، ثم نمثل المنحنى $u_C(t)$ بدلالة الزمن.

7 تركيب تجريبي يمكن من معاينة التوتر u_C بين مربطي المكثف عند استعمال راسم تذبذب ذاكراتي

استثمار :

1. قم بنمذجة المنحنى $u_C(t)$ بدلالة الزمن، بالدالة $u_C(t) = k\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ حيث k و τ ثابتتان، تحددان بواسطة البرنم.
2. يبرز منحنى تغيرات $u_C(t)$ وجود نظامين :
   - نظام انتقالي : يتغير خلاله التوتر $u_C(t)$.
   - نظام دائم : يصل خلاله التوتر إلى قيمة حدية ثابتة .
   أ - عين $u_C(0)$ و $u_C(\infty)$ قيمة $u_C(t)$ عندما تؤول t إلى ما لا نهاية.
   ب - تعرف على الثابتة k.
3. تسمى τ ثابتة الزمن لثنائي القطب RC، وتبين الدراسة النظرية أن : $\tau = R.C$.
   أ - باستعمال معادلة الأبعاد، بين أن τ عبارة عن زمن.
   ب - تحقق من أن قيمة الجداء R.C تساوي τ.
4. نعتبر الدالة التي تمت بها نمذجة المنحنى $u_C(t)$.
   أ - عبر عن $u_C(t = \tau)$ بدلالة k التي تم التعرف عليها في السؤال(2.ب).
   ب - استنتج طريقة مبيانية تمكن من تحديد τ.
   ج - عبر عن الاشتقاق $\left(\frac{du_C}{dt}\right)$ عند t = 0 بدلالة τ و E ، ثم استنتج طريقة مبيانية ثانية تمكن من تحديد τ.



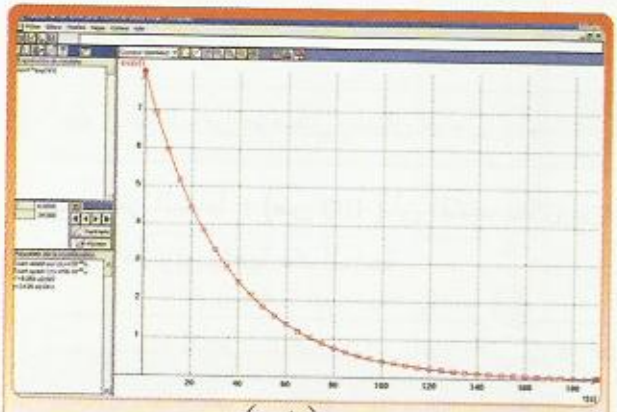
8 منحنى تغيرات $u_C(t)$ بدلالة الزمن

وسيط معلوماتي	interface	نظام	régime	انتقالي	transitoire	دائم	permanent

المناولة 2 : دراسة ثنائي القطب RC خاضع لرتبة توتر نازلة

- نحتفظ بنفس التركيب التجريبي السابق.
- نجعل قاطع التيار في الموضع (1)، حتى يشحن المكثف، ثم نقيس التوتر بين مربطيه.
- نؤرجح قاطع التيار إلى الموضع (2) فيبدأ الوسيط المعلوماتي بتسجيل قيم التوتر $u_C(t)$ بين مربطي المكثف بدلالة الزمن.
- نقوم بنفس خطوات المناولة السابقة :

نقل النتائج في البرنم المجدول وتمثيل المنحنى $u_C(t)$.



9 نمذجة المنحنى بالدالة $u_c(t)=k'.\exp\left(-\frac{t}{\tau'}\right)$

استثمار :

1. باستعمال البرنم المجدول وراسم المنحنيات :

أ ـ تحقق أن الدالة الرياضية $u_c(t)=k'.\exp\left(-\frac{t}{\tau'}\right)$ تُنمذج المنحنى $u_C(t)$ بدلالة الزمن.

ب ـ حدد قيمتي الثابتتين k' وτ'.

2. تعرّف النظام الانتقالي والنظام الدائم، من خلال المنحنى $u_C(t)$ ثم عيّن :

- $u_C(0)$ و $u_C(\infty)$ قيمة u_C عندما تؤول t إلى ما لانهاية.
- تعرّف الثابتة k' .

3. ماذا تمثل الثابتة τ'؟

4. عيّن مبيانيا الثابتة τ' بطريقتين مختلفتين.

5. أحسب $u_C(t)$ في اللحظة $t=5\tau'$ ، ثم عبر عن القسمة $\frac{u_c(5\tau')}{u_c(0)}$ بالنسبة المائوية. ماذا تستنتج ؟

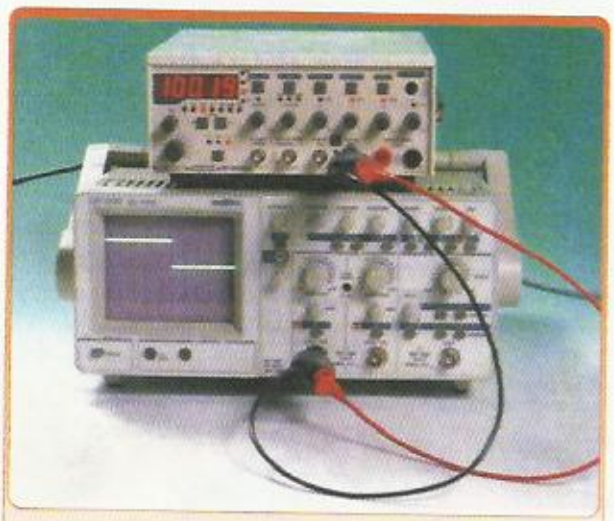
6. بواسطة البرنم المجدول وراسم المنحنيات، مثل على نفس المعلم المنحنى الممثل للدالة $u_c(t)=k'.\exp\left(-\frac{t}{\tau'}\right)$ بالنسبة لقيمتين مختلفتين τ'_1 و τ'_2 ، حيث $(\tau'_2>\tau'_1)$.

ما تأثير τ' على تفريغ المكثف في الدارة (RC) ؟

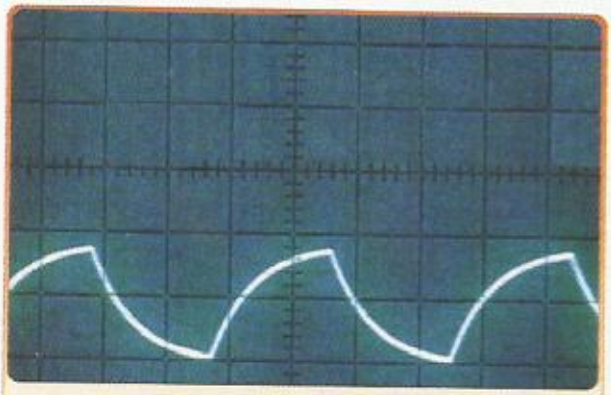
7. نعوض مولد التوتر المستمر بمولد التردد المنخفض GBF، يعطي توترا مربعيا يتم ضبطه بواسطة راسم التذبذب على قيم مناسبة (الدور T والتوتر الأقصى E) ، (الشكل 10).

نضع قاطع التيار K على الموضع (1).

تحقق تجريبيا من الحصول على شكل توتر يوافق التوتر $u_c(t)$ التي تمت نمذجته خلال الشحن وخلال التفريغ (الشكل 11).



10 عملية ضبط توتر مربعي بواسطة مولد التردد المنخفض وراسم التذبذب



11 منحنى تغيرات $u_C(t)$ بدلالة الزمن

رتبة توتر صاعدة	échelon de tension montant
رتبة توتر نازلة	échelon de tension descendant

1 المكثف

1.1 ـ تعاريف :

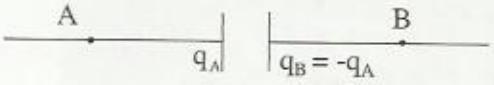
يتكون المكثف من موصلين يسميان لبوسين بينهما عازل استقطابي.

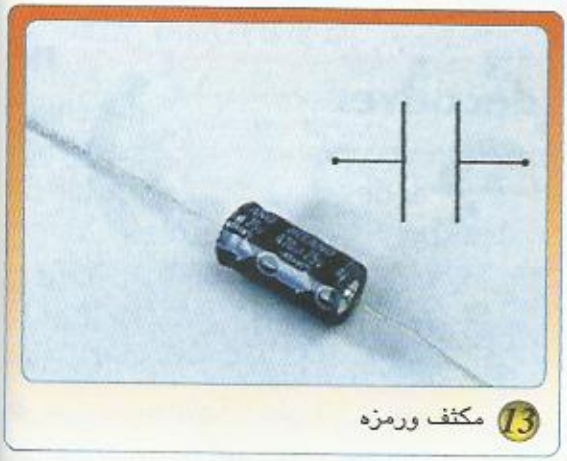
يتبين من النشاط 1 (ص 100) أن المكثف يُمكّن من تخزين كمية من الكهرباء، وإرجاعها عند الحاجة.

نسمي شحنة المكثف، الكمية الكهربائية q التي يتوفر عليها أحد لبوسيه.
لتكن q_A شحنة اللبوس A ($q_A > 0$) و q_B شحنة اللبوس B ($q_B < 0$)
في هذه الحالة $q_A = +q$ و $q_B = -q$.

12 نماذج من المكثفات المستعملة في الإلكترونيك

يرمز للمكثف بخطين متوازيين :

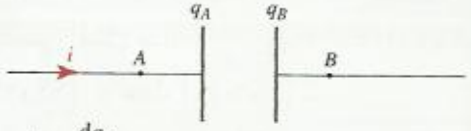




13 مكثف ورمزه

2.1 ـ العلاقة بين الشحنة وشدة التيار

نختار منحى موجبا لشدة التيار حيث يدخل من اللبوس A (الشكل14).
ـ إذا مر التيار في المنحى المختار فإن : $i > 0$.
ـ إذا مر التيار في المنحى المعاكس فإن : $i < 0$.
إن كمية الكهرباء تتغير في اللبوسين في نفس الوقت بنفس المقدار وبإشارتين مختلفتين، أي خلال مدة زمنية متناهية في الصغر dt تتغير شحنة اللبوس A بالقيمة dq_A وشحنة اللبوس B بالقيمة $d\text{-}q_B$
بحيث : $d\text{-}q_B = -dq_A$.
شدة التيار الكهربائي $i(t)$ هي كمية الكهرباء dq_A التي ازدادت في اللبوس A على المدة الزمنية dt : $i(t) = \frac{dq_A}{dt}$.
$i(t)$ موجهة نحو اللبوس A.



$i = \frac{dq_A}{dt}$

عند تزايد q_A : $\frac{dq_A}{dt} > 0$ أي : $i > 0$

عند تناقص q_A : $\frac{dq_A}{dt} < 0$ أي : $i < 0$

14 تجبير شدة التيار الكهربائي

شدة التيار الكهربائي هي صبيب الشحن الكهربائية، وهي كمية الكهرباء التي تصل إلى لبوس المكثف في وحدة الزمن.

$$i(t) = \frac{dq_A}{dt}$$

q_A بالكولوم (C)
t بالثانية (s)
$i(t)$ بالأمبير (A)

كولوم	coulomb	حملة الشحنة	porteurs de charge	عازل استقطابي	diélectrique

3.1 ـ العلاقة بين الشحنة والتوتر : السعة

في النشاط 2 (ص 101) عند تمثيل التوتر $u_{AB}(t)$ بين مربطي مكثف بدلالة الزمن نلاحظ أنه يتناسب اطرادا مع الزمن t .

نكتب إذن : $u_{AB} = k.t$.

بما أن شدة التيار الكهربائي I_0 ثابتة فإن العلاقة بين الشحنة q_A التي يحملها اللبوس A و I_0 هي : $q_A = I_0.t$.

يستنتج من العلاقتين السابقتين أن : $\frac{q_A}{u_{AB}} = \frac{I_0}{k} = C$.

الشحنة الكهربائية q_A تتناسب مع التوتر u_{AB} و يسمى معامل التناسب C سعة المكثف، وحدته في النظام العالمي للوحدات هي الفاراد (F) نسبة إلى الفيزيائي فاراداي.

وهذا ما يتوصل إليه في من خلال تمثيل المنحنى q_A بدلالة التوتر u_{AB} ، إذ نحصل على مستقيم يمر من الأصل (الشكل 15).

تتناسب الشحنة $q_A(t)$ للمكثف مع التوتر $u_{AB}(t)$ بين مربطيه.

يرمز لمعامل التناسب بالحرف C ، ويسمي سعة المكثف، وحدته هي الفاراد (F).

q_A بالوحدة (C) ؛

C بالوحدة (F) ؛

u_{AB} بالوحدة (V) .

$$q_A(t) = C u_{AB}(t)$$

ملحوظات :

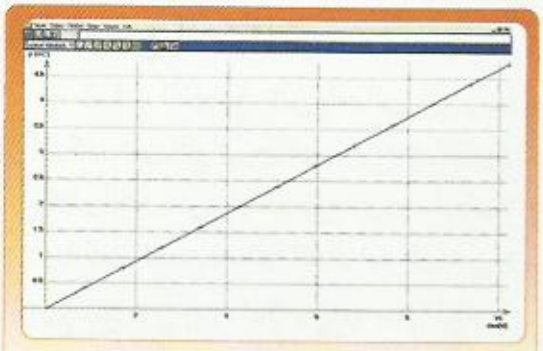
ـ سعة المكثف مقدار موجب، وهو يميز المكثف ولا يتعلق بالتوتر المطبق بين طرفيه، ولا بمدة الشحن.

ـ الفاراد (F) Farad وحدة كبيرة لهذا لا نستعمل إلا أجزاء الفاراد.

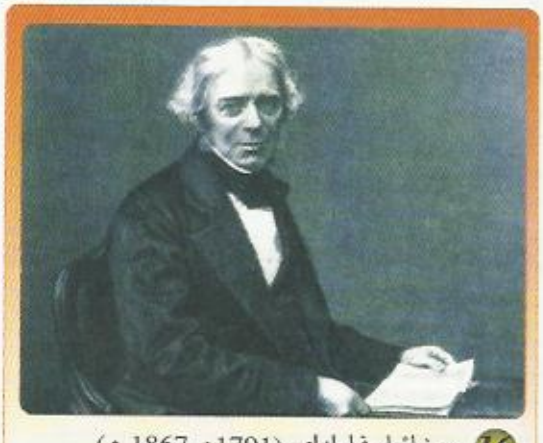
ـ يعطي الجدول أسفله قيم سعات مكثفات بعض الأجهزة :

الاستعمال	C (F)
الذاكرة المتطايرة الدينامية لحاسوب (RAM dynamique)	من0,1 إلى 1
مكثفات إلكتروكيميائية	من0,1 إلى 10
مكثف وامض آلة التصوير	10^{-5}
حبل للتلفزة طوله 1m	8.10^{-11}
قنينة لايد	10^{-10}

قيم سعات بعض المكثفات المتداولة



15 منحنى تغيرات q_A بدلالة u_{AB}



16 ميخائيل فاراداي (1791م-1867 م)

17 مكثفات مختلفة الأشكال، تتراوح سعتها بين 120 pF و 2200 µF

ميليفاراد	(mF)	$1mF = 10^{-3}F$
ميكروفاراد	(μF)	$1\mu F = 10^{-6}F$
نانوفاراد	(nF)	$1nF = 10^{-9}F$
بيكوفاراد	(pF)	$1pF = 10^{-12}F$

أجزاء الفاراد

إلكتروكيميائي	électrochimique	مقدار	grandeur	سعة	capacité	تناسب	proportionnalité

2 تجميع المكثفات

1.2 - التجميع على التوالي

نركب على التوالي مكثفين سعتاهما بالتتابع C_1 و C_2 ، فيمر فيهما نفس التيار الكهربائي، ليشحنا بشحنتين متساويتين ؛ $q_1 = q_2 = q$ (الشكل 18).

وبتطبيق قانون إضافية التوترات فإن : $U_{AB} = U_{AD} + U_{DB}$.

مع $U_{AD} = \frac{q_1}{C_1}$ و $U_{DB} = \frac{q_2}{C_2}$. أي أن :

$U_{AB} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} = q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)$ ، ومنه : $U_{AB} = \frac{q}{C}$.

إن المكثف المكافىء لتجميع مكثفين على التوالي سعتاهما C_1 و C_2، مكثف سعته C تحقق العلاقة : $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$.

تعمم هذه النتيجة كالتالي :

إن سعة المكثف المكافىء لتجميع عدة مكثفات على التوالي تحقق العلاقة : $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ... + \frac{1}{C_n}$.

فائدة التركيب على التوالي :

يُمكّن هذا التركيب من الحصول على سعة قيمتها أصغر، مع تطبيق توتر عال قد لا يتحمله كل مكثف إذا استعمل لوحده.

2.2 - التجميع على التوازي

نركب المكثفين C_1 و C_2 على التوازي، فيكون نفس التوتر U_{AB} مطبقا بين مربطيهما (الشكل 20) . باستعمال قانون العقد، في العقدة A نكتب :

$q = q_1 + q_2$ ، مع $q_1 = C_1 U_{AB}$ و $q_2 = C_2 . U_{AB}$.

$q = C_1 U_{AB} + C_2 U_{AB} = (C_1 + C_2) . U_{AB}$ و $q = C . U_{AB}$ أي $C = C_1 + C_2$.

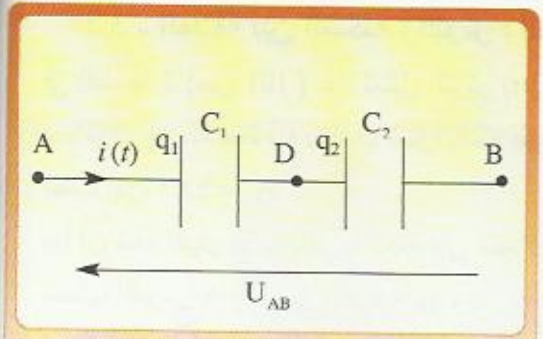
إن المكثف المكافىء لتجميع مكثفين على التوازي سعتاهما C_1 و C_2، مكثف سعته : $C = C_1 + C_2$.

تعمم هذه النتيجة كالتالي :

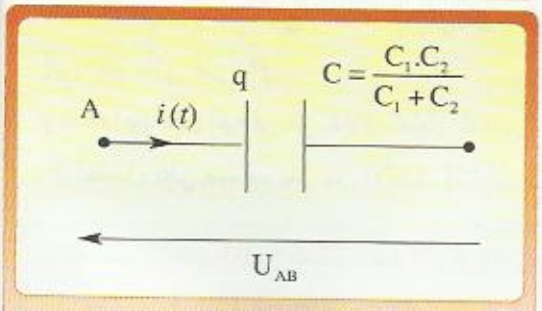
إن سعة المكثف المكافىء لعدة مكثفات مركبة على التوازي تحقق العلاقة : $C = C_1 + C_2 + ... + C_n$.

فائدة التركيب على التوازي

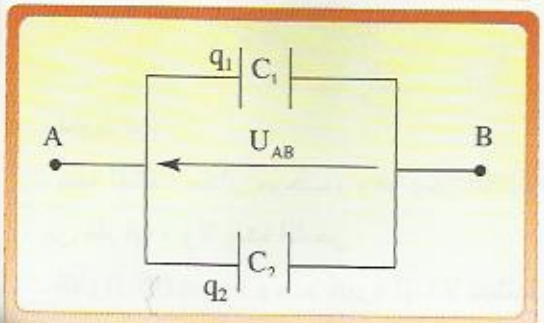
يستعمل هذا التركيب لتكبير السعة. ويُمكّن، بتطبيق توتر ضعيف، من الحصول على شحنة كهربائية كبيرة قد لا يوفرها كل مكثف على حدة.



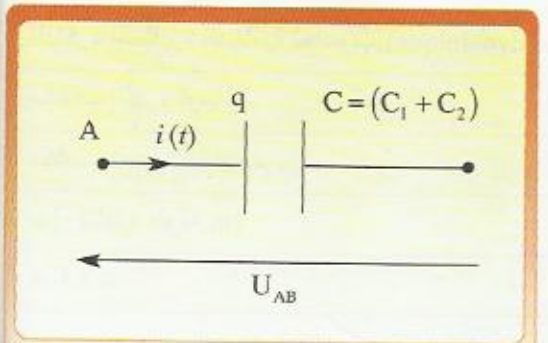
18 يحمل المكثفان المركبان على التوالي نفس كمية الكهرباء في لحظة t. $(q_1 = q_2 = q)$



19 مقلوب سعة المكثف المكافىء يساوي مجموع مقلوب كل من C_1 و C_2



20 المكثفان المركبان على التوازي لهما نفس التوتر U_{AB}



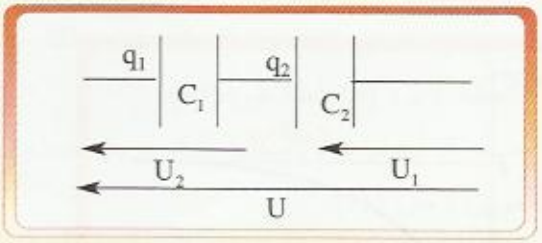
21 سعة المكثف المكافىء $C = (C_1 + C_2)$

تجميع	association	مكافىء	équivalent	على التوالي	en série

تمرين تطبيقي

نطبق توترا $U = 300V$ بين قطبي مجموعة مكوّنة من مكثفين مركبين على التوالي، سعتاهما :

$C_1 = 1\mu F$ و $C_2 = 2\mu F$.



1 ـ حدد التوترين U_1 و U_2 .

2 ـ أحسب الشحنتين q_1 و q_2 للمكثفين .

حـل

1 ـ لدينا العلاقتان $q_1 = C_1U_1$ و $q_2 = C_2U_2$

بالنسبة لسعة المكثف المكافىء : $q_1 = q_2 = q = C.U$

مع : $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ أي $C = \frac{C_1.C_2}{C_1 + C_2}$.

ومنه : $U_1 = \frac{C_2}{C_2 + C_2}$ و $\begin{cases} q_1 = q = C_1U_2 = \frac{C_1.C_2}{C_1 + C_2}U \\ q_2 = q = C_2U_2 = \frac{C_1.C_2}{C_1 + C_2}U \end{cases}$

و $U_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$.

ت ع : $U_1 = 200V$ ، $U_2 = 100V$.

2 ـ الشحنتان q_1 و q_2 :

$q_1 = C_1U_1 = 2.10^{-4}C$ و $q_2 = C_2U_2 = 2.10^{-4}C$.

3 استجابة ثنائي القطب RC لرتبة توتر

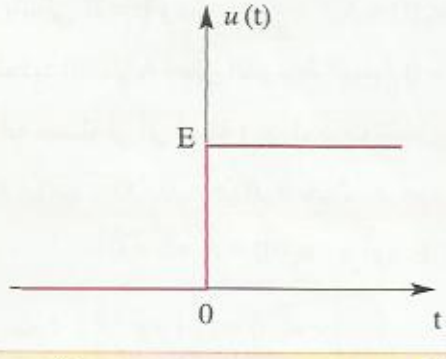
يتكون ثنائي قطب RC من مكثف سعته C ، مركب على التوالي مع موصل أومي مقاومته R .

1.3 ـ استجابة ثنائي القطب RC لرتبة صاعدة للتوتر

رتبة صاعدة للتوتر إشارة كهربائية تُعرَّف كالتالي :

بالنسبة لـ $t < 0$: $u(t) = 0$ ، وبالنسبة لـ $t > 0$: $u(t) = E$.

وننجز رتبة التوتر الصاعدة بواسطة دارة كهربائية تضم مولدا مؤمثلا للتوتر وثنائي قطب RC، وقاطع التيار K . عندما يكون K مفتوحا، يكون التوتر، المطبق على RC منعدما، وعند إغلاقه ينتقل هذا التوتر لحظيا من الصفر إلى قيمة E (الشكل 22).

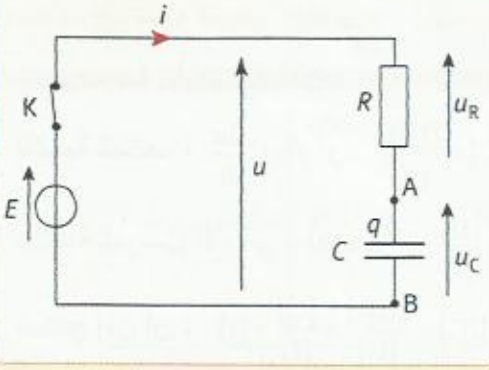


22 رتبة صاعدة للتوتر : ينتقل التوتر $u(t)$ فجاة من 0 إلى القيمة E

أ ـ المعادلة التفاضلية للدارة

قبل غلق الدارة، يكون المكثف غير مشحون ؛ وهذا يعني أن التوتر بين مربطيه يكون منعدما.

نغلق الدارة في لحظة نعتبرها أصلا للتواريخ $t = 0$ ، فنحصل على الدارة الممثلة في (الشكل 23).



23 يشحن المكثف عند غلق الدارة

بتطبيق قانون إضافية التوترات، نجد :

$u_R + u_C = u$ (1) مع $u = E$.

لدينا : $u_R = Ri$ حسب قانون أوم.

ولدينا $i = \frac{dq}{dt}$ و $q = Cu_C$ أي $i = C.\frac{du_C}{dt}$.

تصبح المعادلة (1) : $Ri + u_C = E$ أي $RC\frac{du_C}{dt} + u_C = E$.

réponse	استجابة	montante	صاعدة	échelon	رتبة

تكتب المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر $u_C(t)$ بين مربطي مكثف، في دارة RC خاضعة لرتبة توتر صاعدة، على شكل :

$\tau.\frac{du_C}{dt}+u_C=E$ مع $\tau=R.C$.

بتعويض $u_C(t)$ بـ : $\frac{q}{C}$ في المعادلة التفاضلية نجد المعادلة التفاضلية التي تحققها الشحنة q:

$\tau\frac{dq}{dt}+q=CE$.

ب ـ حل المعادلة التفاضلية

إن حل المعادلة التفاضلية : $\tau.\frac{du_C}{dt}+u_C=E$ يكتب على شكل :

$u_C(t)=Ae^{-mt}+B$ حيث A و m و B ثوابت سنحددها.

لدينا : $\frac{du_C}{dt}=-A.me^{-mt}$ ونعوضه في المعادلة التفاضلية.

نجد : $-\tau.mAe^{-mt}+Ae^{-mt}+B=E$.

أي : $Ae^{-mt}(1-m.\tau)=E-B$.

لكي تتحقق هذه المعادلة مهما كان t يجب أن يكون معامل e^{-mt} منعدما :

$1-m\tau=0$ ، أي $m=\frac{1}{\tau}=\frac{1}{RC}$.

وبالتالي $E=B$ ومنه : $u_C(t)=Ae^{-\frac{t}{\tau}}+E$.

لتحديد الثابت A نعتبر الشروط البدئية $u_C(0)=0$ ، وهذا لكون $u_C(t)$ دالة متصلة في أي لحظة t من لحظات تشغيل المكثف بما فيها اللحظة $t=0$.

$u_C(t)=u_C(t-\varepsilon)=u_C(t+\varepsilon)$ حيث ε عدد موجب قريب من الصفر.

$u_C(0)=A+E=0$ أي $A=-E$.

ومنه : $\boxed{u_C(t)=E\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)}$

ويبرز منحنى تغيرات $u_C(t)$ وجود نظامين :

نظام انتقالي : تتغير خلاله $u_C(t)$ مع الزمن.

نظام دائم : تأخذ خلاله $u_C(t)$ قيمة ثابتة E .

ج ـ ثابتة الزمن $\tau=RC$

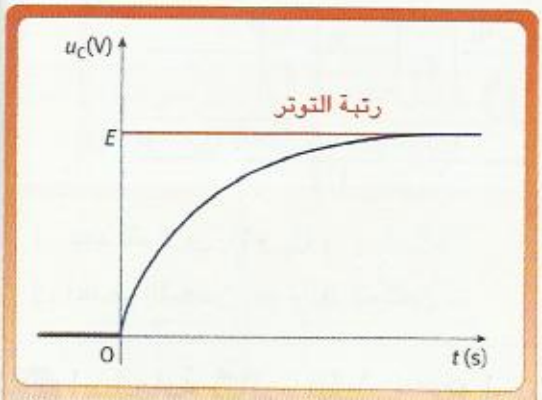
تحليل معادلة الأبعاد للجداء RC :

بالنسبة للمكثف : $i=C\frac{du}{dt}$ أي $[C]=\frac{[I][t]}{[U]}$.

بالنسبة للموصل الأومي : $u=Ri$ ، $[R]=\frac{[U]}{[I]}$.

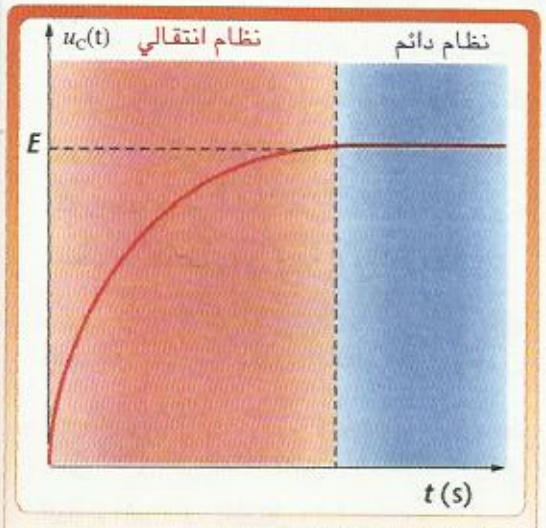
نستنتج إذن أن : $[t]=\frac{[I][t]}{[U]}\times\frac{[U]}{[I]}=[R][C]$.

إذن المقدار τ له بعد زمني، ولهذا يُسمى ثابتة الزمن لثنائي القطب RC ، وحدته : الثانية (s) .



24 تغير التوتر $u_C(t)$ بين مربطي مكثف خلال شحنه. يلاحظ أن $u_C(t)$ دالة متصلة عند $t=0$:

$\left[u_C(t=0^+)=u_C(t=0^-)=0\right]$



25 النظامان الانتقالي والدائم

continu	متصل	conditions initiales	شروط بدئية	différentielle	تفاضلية

طرق تحديد ثابتة الزمن τ :

- الطريقة الأولى : (الشكل 26).

لدينا $u_C(\tau)=E(1-e^{-1})=0,63E$ حيث : τ هو الأفصول الذي يوافق الأرتوب $0,63E$.

- الطريقة الثانية : (الشكل 27).

يقطع مماس المنحنى $u_C(t)$ عند اللحظة $t=0$ المقارب $u_C=E$ ، في اللحظة $t=\tau$ (النشاط 3 ص 102).

- طرق أخرى : (انظر التمرين المحلول ص 113. والتمرين 8 ص 115).

د ـ تعبير شدة التيار الكهربائي المار في الدارة RC

نعلم أن : $i=\frac{dq}{dt}=C.\frac{du_C}{dt}$.

بما أن : $u_C(t)=E\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ مع $\tau=RC$ ، فإن :

$$i=\frac{dq}{dt}=C.\frac{du_C}{dt}=CE\left(0-\left(-\frac{1}{RC}e^{-\frac{t}{\tau}}\right)\right)=\frac{E}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}$$

إن الاستجابة بالتيار لثنائي قطب RC خاضع لرتبة صاعدة للتوتر، تكتب كالتالي :

$$i(t)=\frac{E}{R}.e^{-\frac{t}{\tau}}$$

2.3 ـ استجابة ثنائي القطب RC لرتبة نازلة للتوتر

تُعرف رتبة نازلة للتوتر كالتالي :

$$\begin{cases} t<0 & u(t)=E \\ t>0 & u(t)=0 \end{cases}$$

وتنجز تجريبيا بأرجحة قاطع التيار إلى الموضع (2) (النشاط 3 ص 105).

أ ـ المعادلة التفاضلية للدارة

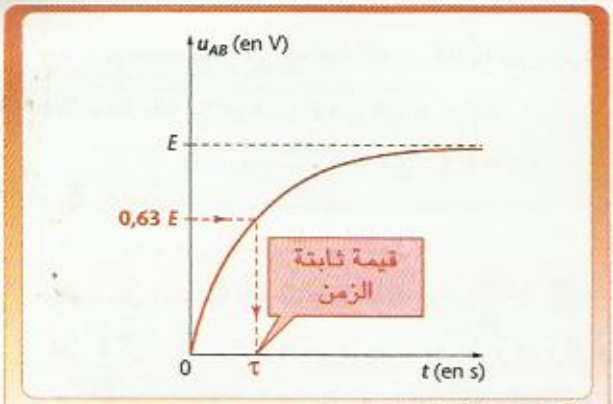
نضع قاطع التيار K في الموضع 2 في لحظة نعتبرها أصلا للتواريخ $(t=0)$ ، فنحصل على دارة الشكل 30 . في هذه اللحظة يكون المكثف مشحونا : $u_C(0)=E$.

بتطبيق قانون إضافية التوترات لدينا : $u_C+u_R=u=0$.

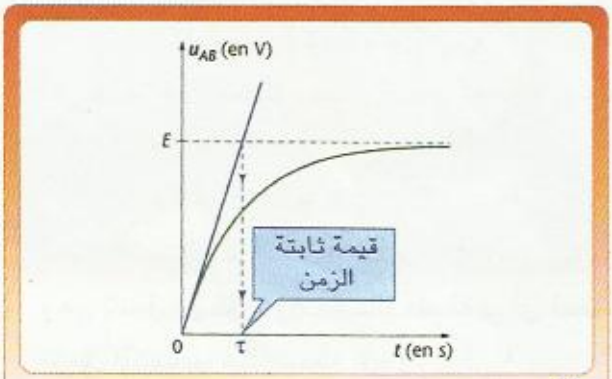
بالنسبة للمكثف : $i=\frac{dq}{dt}$ و $q=Cu_C$ أي $i=C.\frac{du_C}{dt}$.

بالنسبة للموصل الأومي : $u_R=Ri=RC.\frac{du_C}{dt}$.

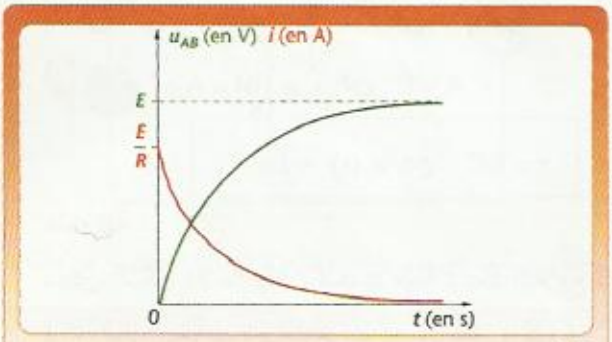
أي أن : $\tau.\frac{du_C}{dt}+u_C=0$ مع $\tau=RC$.



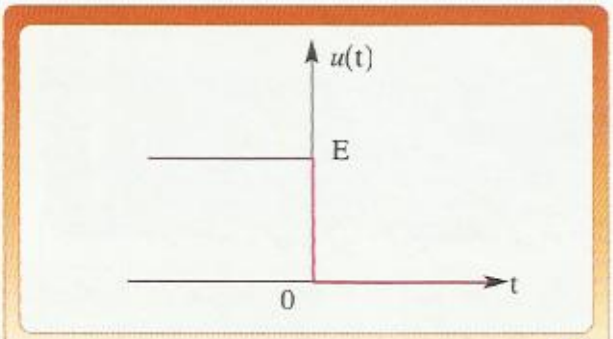
26 طريقة أولى لتحديد τ



27 طريقة ثانية لتحديد τ



28 المنحنيان $u_C(t)$ و $i(t)$ بالنسبة لرتبة صاعدة للتوتر



29 رتبة نازلة للتوتر

بعد	dimension	انتقالي	transitoire	دائم	permanent

المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر $u_C(t)$ بين مربطي مكثف خلال تفريغه في موصل أومي هي :

$\tau \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$ ، مع $\tau = R.C$.

ب ـ حل المعادلة التفاضلية

يكتب حل المعادلة التفاضلية : $\tau \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$

على شكل : $u_C(t) = A.e^{-mt} + B$ ، مع A و m و B ثوابت .

$\frac{du_C}{dt} = -m.A.e^{-mt}$ ، تُعوض في المعادلة التفاضلية فنجد :

$-\tau\, m.Ae^{-mt} + (Ae^{-mt} + B) = 0$.

أي $Ae^{-mt}(1 - \tau.m) + B = 0$.

لكي تتحقق هذه المعادلة يجب أن يكون معامل e^{-mt} منعدما .

أي : $1 - \tau.m = 0$. $m = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC}$

وبالتالي : $B = 0$.

لتحديد الثابت A نعتبر الشروط البدئية : $u_C(0) = E$

وهي ناتجة عن كون $u_C(t)$ دالة متصلة في أي لحظة t من لحظات تشغيل المكثف بما فيها اللحظة $t = 0$.

$u_C(t) = u_C(t - \varepsilon) = u_C(t + \varepsilon)$ حيث ε عدد موجب قريب من الصفر .

بما أن : $u_C(0) = E$ فإن : $u_C(0) = A.e^{-\frac{t}{\tau}}$

أي $u_C(0) = A.e^{-0} = E$. إذن $A = E$.

$$u_C(t) = E.e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{مع} \quad \tau = RC$$

ملحوظة :

ـ يبين الشكل 31 طريقتين لتحديد قيمة τ عند التفريغ :

($u_C(\tau) = 0{,}37E$ ؛ والمماس للمنحنى عند $t = 0$).

ـ كلما كانت τ صغيرة كلما كان تفريغ المكثف أسرع (الشكل32).

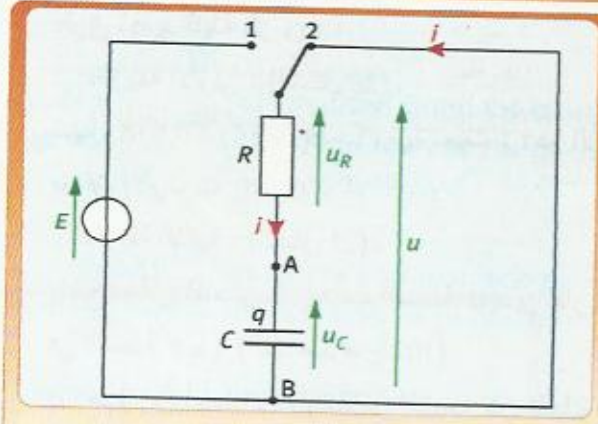
د ـ تعبير شدة تيار التفريغ

لدينا : $u_C(t) = E.e^{-\frac{t}{\tau}}$ مع $\tau = RC$ ،

ومنه : $i = \frac{dq}{dt} = C\frac{du_C}{dt} = -\frac{E}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}$.

شدة التيار الكهربائي خلال تفريغ مكثف في موصل أومي هي : $i(t) = -\frac{E}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}$.

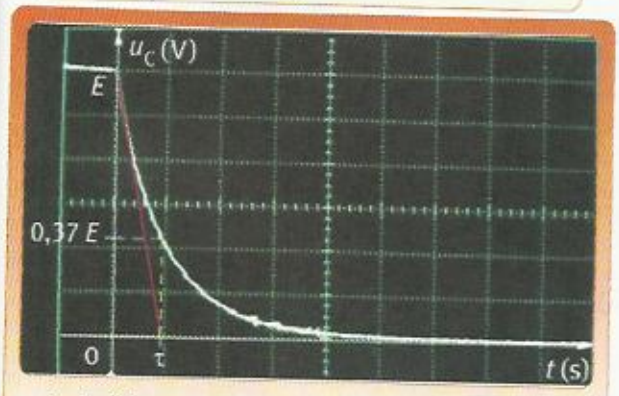
يبين الشكل 33 ، منحنى تغيرات $i(t)$.



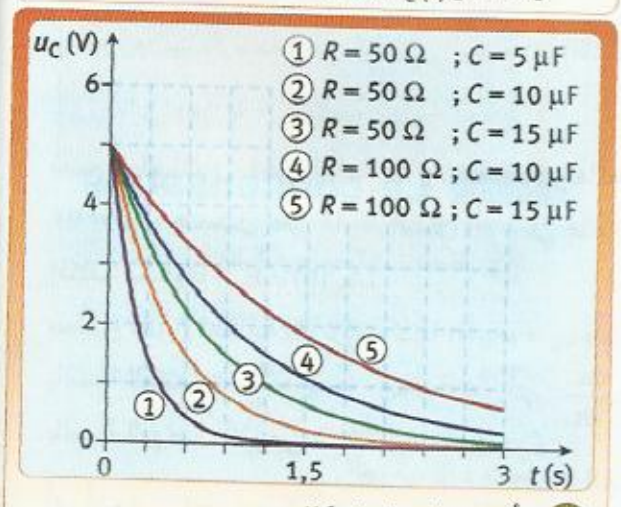
30 عند وضع قاطع التيار K في الموضع2 يفرغ المكثف في الموصل الأومي

بتعويض u_C بـ : $\frac{q}{c}$ في المعادلة التفاضلية نجد المعادلة التفاضلية التي تحققها الشحنة q :

$\tau.\frac{dq}{dt} + q = 0$



31 تغير التوتر $u_C(t)$ بين مربطي مكثف من خلال تفريغه يلاحظ أن $u_C(t)$ دالة متصلة عند اللحظة $t = 0$



32 تأثير τ على تفريغ مكثف

variation	تغير	fonction	دالة	décharge	تفريغ

4 الطاقة المخزونة في المكثف

1.4 - الإبراز التجريبي

نعتبر التركيب التجريبي الممثل في الشكل34.

بعد شحن مكثف بواسطة مولد التوتر المستمر (K في الموضع1) نؤرجح قاطع التيارK إلى الموضـــع 2، فنلاحظ اشتغال المحرك وصعود الكتلة المعلمة المعلقة بواسطة خيط ملفوف حول مرود المحرك. ويعزى صعود الكتلة المعلمة واكتسابها طاقة وضع ثقالية إلى الطاقة الكهربائية التي اختزنها المكثف أثناء شحنه.

يُمكّن المكثف من تخزين طاقة كهربائية قصد استعمالها عند الحاجة.

2.4 - تعبير الطاقة المخزونة في المكثف

القدرة الكهربائية المنوحة للمكثف هي :

$P = u_C.i$ مع $i = C.\frac{du_C}{dt}$.

$P = Cu_C.\frac{du_C}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Cu_C^2\right)$ ·

القدرة P هي المشتقة بالنسبة للزمن للطاقة ξ_e التي يكتسبها المكثف.

$P = \frac{d}{dt}\xi_e = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Cu_C^2\right)$ أي : $\xi_e = \frac{1}{2}Cu_C^2 + k$.

باعتبار $\xi_e(0) = 0$ عندما يكون المكثف غير مشحون $u_C(0) = 0$

فإن : $k = 0$.

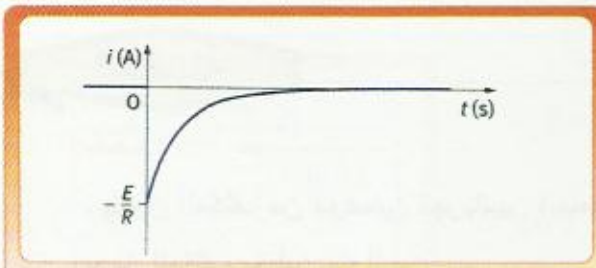
تتناسب الطاقة المخزونة في مكثف سعته C مع مربع التوتر u_C بين مربطيه :

$$\xi_e = \frac{1}{2}Cu_C^2$$

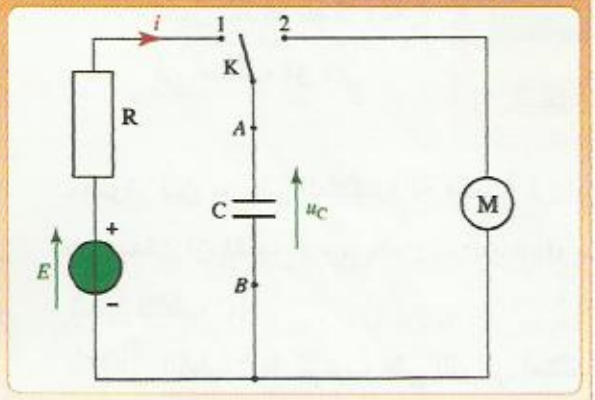
(J) (F) (V)

إن خاصية تخزين الطاقة الكهربائية بواسطة مكثف، وإمكانية استرجاعها في وقت لاحق وعند الحاجة، تمكن من استعماله في عدة أجهزة نذكر منها:

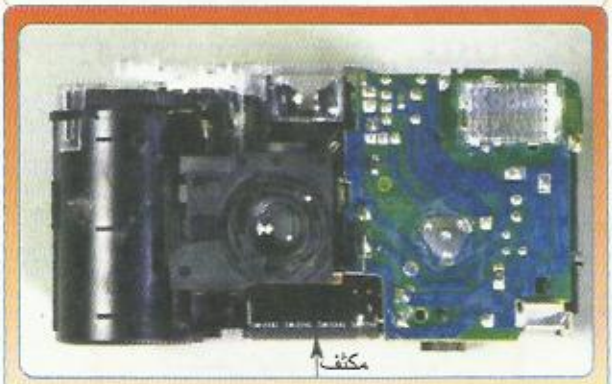
- الذاكرة المتطايرة الدينامية RAM لحاسوب ؛
- التغذية الكهربائية المستمرة والمثبتة ؛
- الأجهزة الفوتوغرافية حيث تمكن الطاقة المخزونة في المكثف من تشغيل مصباح الوامض (الشكل 35).



33 المنحنى الممثل لشدة تيار التفريغ



34 تركيب تجريبي يمكن من إبراز الطاقة المخزونة في مكثف



35 عند أخذ الصورة، تنتقل الطاقة المخزونة في المكثف إلى مصباح الوامض خلال جزء من الثانية

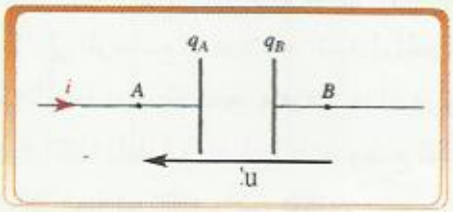
طاقة مخزونة	énergie emmagasinée	مصباح الوامض	lampe de flash

الحصيلة

المكثف :

- يتكون المكثف من موصلين كهربائيين (يسميان لبوسين) ويفصل بينهما عازل استقطابي.

يرمز للمكثف بخطين متوازيين.



في الاصطلاح مستقبل : $i=\frac{dq}{dt}$ ، و $q=Cu$.

حيث C سعة المكثف وحدتها الفاراد : F.

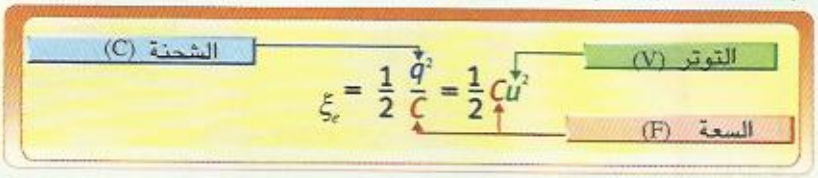
تجميع المكثفات :

- تجميع n من المكثفات على التوالي : $\frac{1}{C_e}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{C_i}$.
- تجميع n من المكثفات على التوازي : $C_e=\sum_{i=1}^{n}C_i$.

الطاقة المخزونة في مكثف :

- يمكن للمكثف تخزين طاقة كهربائية قصد استرجاعها عند الحاجة.

تعبير الطاقة المخزونة ξ_e في المكثف هو :



- التوتر بين مربطي المكثف دالة متصلة في أي لحظة t من لحظات تشغيل المكثف، بما في ذلك اللحظة $t=0$.

بحيث يمكن أن نكتب $u_C(t)=u_C(t-\varepsilon)=u_C(t+\varepsilon)$ ، ε عدد موجب قريب من الصفر.

ثنائي القطب RC :

- ثنائي القطب RC تركيب على التوالي لمكثف سعته C وموصل أومي مقاومته R.

شحن مكثف :

- K في الموضع 1.
- المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_C هي :

$\frac{du_C}{dt}+\frac{1}{\tau}u_C=\frac{E}{\tau}$ مع $\tau=RC$

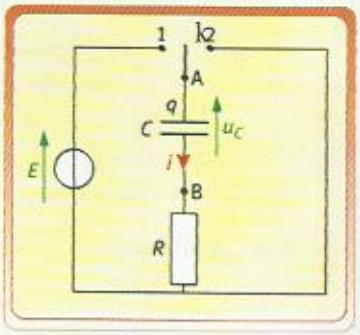
- حل هذه المعادلة هو : $u_C(t)=E\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$

تفريغ مكثف :

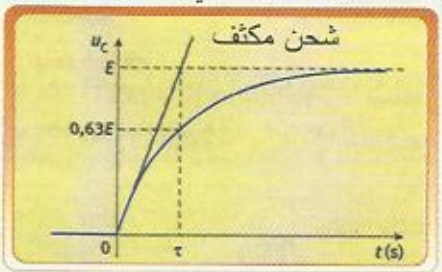
- K في الموضع 2.
- المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_C هي :

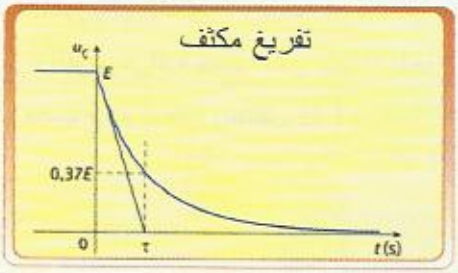
$\frac{du_C}{dt}+\frac{1}{\tau}u_C=0$ مع $\tau=RC$

- حل هذه المعادلة هو : $u_C(t)=Ee^{-\frac{t}{\tau}}$



$\tau=RC$ ثابتة تميز ثنائي القطب RC ، وتسمى ثابتة الزمن وحدتها (s) ، وتحدد مبيانيا بطرق مختلفة.



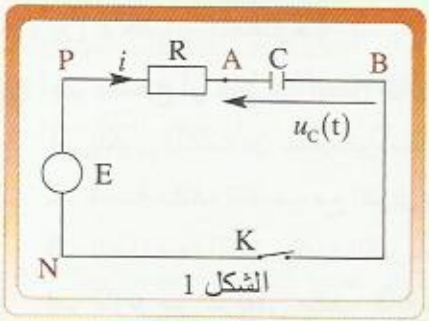


تمرين محلـول

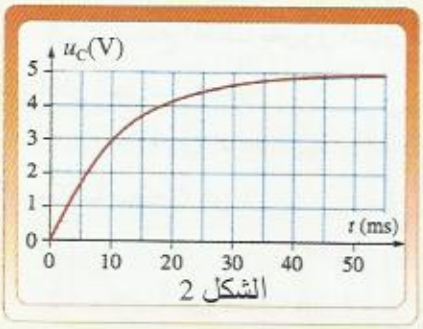
شحن مكثف :

نركب مكثفا سعته C على التوالي مع موصل أومي مقاومته $R = 10\,K\Omega$ ، ومولد قوته الكهرمحركة $E = 5{,}0V$ وقاطع التيار K (الشكل 1).

نفرغ المكثف، ثم نغلق قاطع التيار عند اللحظة $t = 0$. يمثل الشكل 2 تغيرات التوتر بين مربطي المكثف $u_C(t)$ بدلالة الزمن.



الشكل 1



الشكل 2

1 - أوجد المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر $u_C(t)$.

2 - حل المعادلة التفاضلية يكتب على شكل : $u_C(t) = A\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$.

أوجد تعبير الثابتتين A و τ .

3 - حدد مبيانيا τ واستنتج قيمة C سعة المكثف.

4 - بين أن التوتر بين مربطي المكثف في النظام الدائم هو $u_\infty = E$.

5 - لتكن $t_{1/2}$ اللحظة التي يصل فيها التوتر $u_C(t)$ إلى القيمة $\frac{u_\infty}{2}$.

أ - بين أن : $t_{1/2} = \tau\, Ln2$.

ب - عين مبيانيا $t_{1/2}$ ، واستنتج τ وقارنها بالقيمة المحصّلة في السؤال 3 .

إرشادات

1 -

- استحضار قانون إضافية التوترات وقانون أوم.
- استحضار العلاقة بين الشحنة وشدة التيار والعلاقة بين الشحنة والتوتر.

2 - استثمار المعادلة التفاضلية.

3 - معرفة أن المماس للمنحنى عند $t = 0$ يقطع المقارب للمنحنى $U_C = E$ عند $t = \tau$.

4 - عندما تؤول t إلى ما لانهاية، تكون الدارة في النظام الدائم.

5 - معرفة أن :

$y = e^x$ تعني $x = Ln2$.

حـل

1 - • بتطبيق قانون إضافية التوترات نجد : $u_{PN} = u_{PA} + u_{AB}$.

• بتطبيق قانون (أوم) نجد : $U_{PA} = Ri$ و $u_{PN} = E$ و $u_{AB} = u_C(t)$.

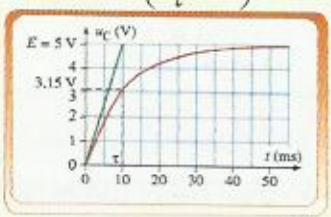
ومنه فإن : $E = Ri + u_C(t)$ (1)

• بما أن التيار موجه نحو اللبوس A فإن : $i = \frac{dq_A}{dt}$.

• وبما أن التوتر موجه من B نحو A فإن : $q_A = Cu_{AB}$ أي $q_A = Cu_C$.

وهكذا فإن : $i = C\frac{du_C}{dt}$. نعوض في العلاقة (1)، فنجد : $E = RC\frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t)$.

2 - لدينا $u_C(t) = A\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ نحسب : $\frac{du_C(t)}{dt} = \frac{A}{\tau}e^{-\frac{t}{\tau}}$. نعوض في المعادلة التفاضلية فنجد : $E = RC\frac{A}{\tau}e^{-\frac{t}{\tau}} + A\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ أي : $E = Ae^{-t/\tau}\left(\frac{RC}{\tau} - 1\right) + A$



هذا يعني أن : $\frac{RC}{\tau} - 1 = 0$ و $A = E$ ،

و $\tau = RC$ ، وبالتالي نكتب : $u_C(t) = E\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$.

3 - نمثل المماس للمنحنى عند اللحظة $t = 0$ ،

فنجد أنه يتقاطع مع المقارب للمنحنى $U_C = E$ في اللحظة $\tau \approx 10\,ms$.

ومنه فإن : $C = \frac{\tau}{R}$ أي $C = 1\mu F$.

4 - عند ما $t \to \infty$ فإن : $u_\infty = E\left(1 - e^{-\infty}\right) = E$.

5 - أ - لدينا $u\left(t_{1/2}\right) = \frac{E}{2}$ أي $E\left(1 - e^{-\frac{t_{1/2}}{\tau}}\right) = \frac{E}{2}$ ومنه فإن : $e^{-\frac{t_{1/2}}{\tau}} = \frac{1}{2}$ أي أن $t_{1/2} = \tau\, Ln2$

ب - مبيانيا : عندما يكون $u_C = \frac{E}{2} = 2{,}5V$ يكون $t = t_{1/2} = 6{,}9ms$ ومنه : $\tau = \frac{t_{1/2}}{Ln2}$.

أي : $\tau \approx 9{,}9\ ms$ وهي نفس النتيجة المحصلة في السؤال (3).

تمارين لاختبار المعارف

1 أجب بصحيح أو خطأ عن الجمل التالية :

1 - يتكون المكثف من صفيحتين متقابلتين عازلتين.

2 - شحنة مكثف تتناسب مع التوتر بين مربطيه.

3 - تتعلق سعة المكثف بكمية الكهرباء التي يحملها.

4 - التوتر بين مربطي مكثف دالة متصلة.

5 - لا يسمح المكثف بمرور التيار الكهربائي المستمر.

2 إختر الجواب الصحيح :

1 - العلاقة بين الشحنة q_A والتوتر U_{AB} بين مربطي مكثف سعته C هي :

أ - $q_A = CU_{BA}$ ، ب - $q_A = CU_{AB}$ ، ج - $q_A = \frac{U_{AB}}{C}$.

2 - خلال شحن مكثف فإن التوتر بين مربطيه :

أ - يتزايد ؛ ب - يتناقص ؛ ج - يبقى ثابتا.

3 - تكون مدة شحن مكثف مركب على التوالي مع موصل أومي مقاومته R أطول إذا كانت :

أ - R أكبر ؛ ب - R أصغر ؛ ج - لا تتعلق بـ R.

4 - $\tau = 2,7\ 10^{-4} s$ هي ثابتة الزمن لثنائي قطب RC مكون من موصل أومي مقاومته $R = 2,7 k\Omega$ و مكثف سعته :

أ - $C = 10^{-6} F$ ؛ ب - $C = 10^{-7} F$ ؛ ج - $C = 10 \mu F$.

5 - يعبر عن الطاقة المخزونة في مكثف بالعلاقة :

أ - $\xi = \frac{1}{2} uC^2$ ؛ ب - $\xi = \frac{1}{2} \frac{u^2}{C}$ ؛ ج - $\xi = \frac{1}{2} Cu^2$.

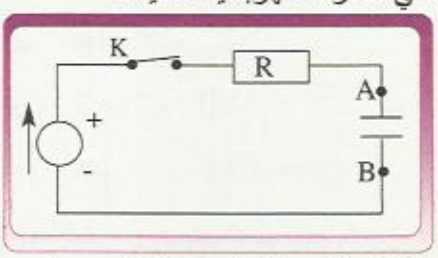
6 - السعة المكافئة C لمكثفين سعتاهما C_1 و C_2 مركبين على التوازي :

أ - أصغر من أصغرهما ؛ ب - أكبر من أكبرهما.

تمارين تطبيقية

3 العلاقتان : (شدة التيار - شحنة) و(شحنة - توتر).

نُركب مكثفا مفرغا في الدارة الكهربائية التالية :



عند اللحظة $t = 0$ نغلق قاطع التيار k

1 - أعط العلاقة بين التيار الكهربائي i وشحنة اللبوس A.

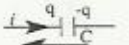
2 - مثل التوتر u_C بين مربطي المكثف في الاصطلاح مستقبل.

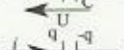
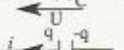
3 - أعط العلاقة بين الشحنة q_A والتوتر u_C.

4 - إستنتج العلاقة بين شدة التيار i والتوتر u_C.

أجوبة : 1 - $i = \frac{dq_A}{dt}$ ، 3 - $q_A = CU_{AB}$ ، 4 - $i = C\frac{du_C}{dt}$.

4 الاصطلاح مستقبل والاصطلاح مولد :

الحالة 1 : الحالة 2 : 

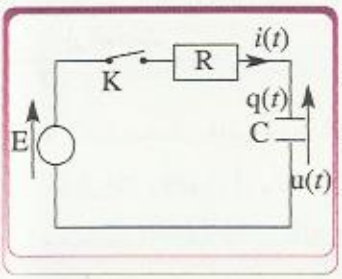
الحالة 3 :  الحالة 4 : 

حدد من بين الحالات الأربع الاصطلاح مستقبل والاصطلاح مولد، واعط العلاقة بين i و U.

إجابة : الحالة 1 والحالة 2 : الاصطلاح مستقبل : $i = C\frac{du}{dt}$

الحالة 3 والحالة 4 : الاصطلاح مولد : $i = -C\frac{du}{dt}$

5 شحن مكثف :



نركب في الدارة الكهربائية جانبه مكثفا غير مشحون ثم نغلق قاطع التيار k عند اللحظة $t = 0$.

1 - أوجد المعادلة التفاضلية التي تعبر عن تغيرات شحنة المكثف بدلالة الزمن.

2 - حل المعادلة التفاضلية هو : $q(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + B$

حيث $\tau = RC$ ثابتة الزمن و A و B ثابتتان.

أ - عندما يؤول $t \to \infty$، يمكن اعتبار الدارة في النظام الدائم. ما شحنة المكثف $q(\infty)$ في هذه الحالة ؟ استنتج الثابتة B.

ب - باستعمال الشروط البدئية، حدد الثابتة A، واستنتج تعبير $q(t)$.

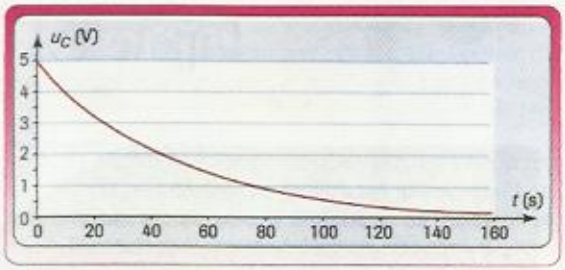
أجوبة : 1 - $q(t) + RC\frac{dq(t)}{dt} = CE$.

2 - أ - $q(\infty) = CE$ و $q(\infty) = B = CE$.

ب - $A = -B = -CE$ و $q(t) = CE\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$.

6 تفريغ مكثف :

نركب مكثفا مشحونا بواسطة توتر $E = 5,0\ V$ ، على التوازي مع موصل أومي مقاومته $R = 10^2 k\Omega$. نقيس التوتر u_C بين مربطي المكثف خلال التفريغ. يمثل المنحنى الموالي تغيرات u_C بدلالة الزمن.



1 - بين أن المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_C تكتب على شكل : $u_C + RC\frac{du_C}{dt} = 0$.

2 - تحقق من أن حل المعادلة التفاضلية هو :

$u_C = u_m e^{-t/RC}$.

3 - استنتج قيمة u_m باستعمال الشروط البدئية.

4 - اعط تعبير ثابتة الزمن لثنائي القطب RC .

5 - حدد مبيانيا قيمة τ ثابتة الزمن.

6 - استنتج قيمة C سعة المكثف .

أجوبة :

3 - عند $t = 0$ $u_C(0) = u_m = E$.

4 - $\tau = RC$ ، 5 - تقاطع المماس للمنحنى عند $t = 0$ ومحور الأفاصيل يعطي $\tau \approx 47s$. 6 - $C = 4{,}7.10^{-2}\mu F$.

تمارين توليفية

7 الطاقة في المكثف :

نعتبر دارة كهربائية تضم على التوالي مولدا للتيار المستمر $I = 0{,}2mA$ ، ومكثفا سعته $C = 400\ \mu F$ وقاطعا للتيار K وموصلا أوميا مقاومته $R = 1k\Omega$. المكثف مفرغ بدئيا، نغلق K في اللحظة $t_0 = 0$.

1 - حدد عند اللحظة $t_0 = 0$ ، التوترات $u_C(0)$ و $u_R(0)$ و $u_G(0)$ بالتتابع بين مربطي المكثف والموصل الأومي ومولد التيار المستمر.

2 - نوقف الشحن عند اللحظة $t_1 = 10s$ وذلك بفتح قاطع التيار أحسب في هذه اللحظة :

أ - الشحنة $q(t_1)$ للمكثف.

ب - التوتر $u_C(t_1)$.

ج - الطاقة $\xi_e(t_1)$ المخزونة في المكثف.

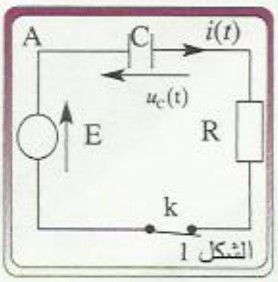
3 - أ - أحسب الطاقة الحرارية E' المبددة في الموصل الأومي خلال المدة الزمنية $\Delta t = t_1 - t_0$.

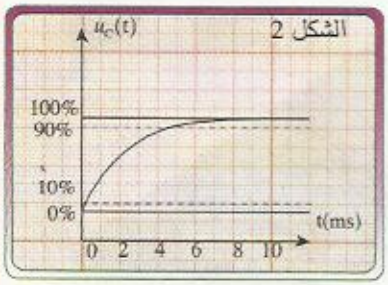
ب - أحسب r خارج قسمة الطاقة الكلية $\xi_e(t_1)$ المخزونة في المكثف على الطاقة الكلية E التي يمنحها المولد خلال مدة الشحن Δt . ماذا تستنتج ؟

ج - ماذا يحدث، إذا تم الاستمرار في شحن المكثف دون توقف؟

8 قياس سعة مكثف :

لدراسة استجابة ثنائي قطب RC لرتبة التوتر ننجز الدارة الكهربائية (الشكل 1). بعد تفريغ المكثف نغلق قاطع التيار K عند اللحظة $t = 0$. نعطي : $R = 100\Omega$.





1 - انقل على دفترك تبيانة التركيب وبين عليها كيفية ربط كاشف التذبذب ذي ذاكرة لمعاينة التوتر $u_C(t)$.

2 - أثبت المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر $u_C(t)$.

3 - تحقق من أن حل هذه المعادلة يكتب على شكل :

$u_C(t) = E\left(1 - e^{-t/RC}\right)$.

4 - ماقيمة u_∞ التوتر بن مربطي المكثف في النظام الدائم ؟

5 - نشاهد على شاشة راسم التذبذب التوتر $u_C(t)$ بدلالة الزمن (الشكل 2). حدد مبيانيا التوتر E.

نعطي : الحساسية الأفقية $2ms/div$.

الحساسية الرأسية $0{,}4V/div$.

6 - حدد مبيانيا ثابتة الزمن RC ثم استنتج قيمة C.

7 - لتكن t_1 و t_2 بالتتابع اللحظتان اللتان يصل فيهما التوتر $u_C(t)$ لـ 10% و 90% من قيمته القصوى u_∞ . عين مبيانيا t_1 و t_2 واستنتج زمن الصعود (temps de montée) $t_m = t_2 - t_1$

8 - أوجد تعبير t_m بدلالة R و C. استنتج قيمة سعة المكثف C. قارنها بالقيمة المحصّلة مبيانيا.

أجوبة : 2 - $u_C(t) + RC\frac{du_C(t)}{dt} = E$ **4 -** $U_- = E$.

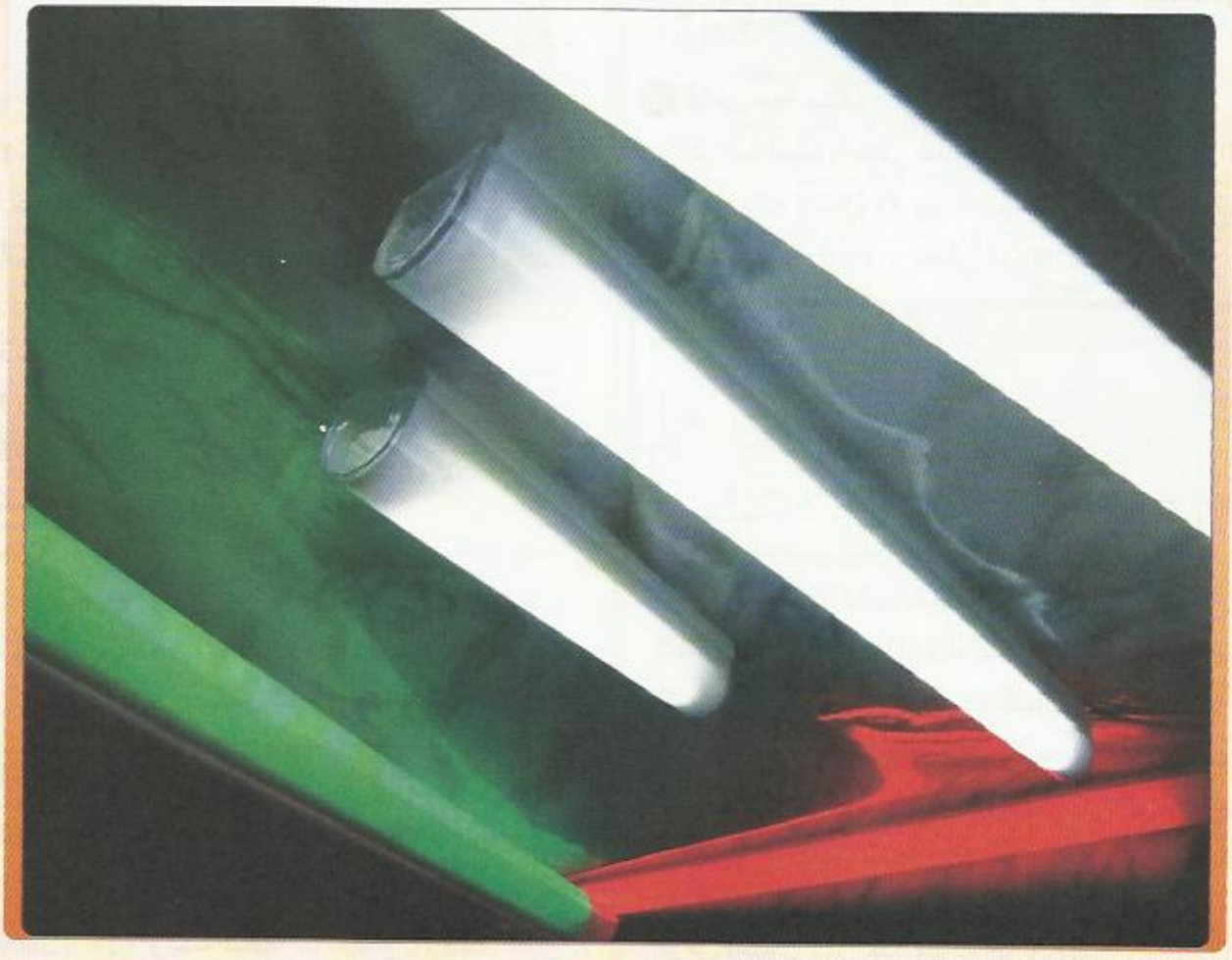
5 - $E = 1V$. **6 -** $\tau = 2ms$ و $C = 2\mu F$.

7 - $t_1 = 0{,}2ms$ و $t_2 = 4{,}6ms$ ومنه $t_m = 4{,}4ms$.

8 - $t_m = RC\,\ell n9$. $C = 2\mu F$.

8 ثنائي القطب R.L

Dipôle R.L



يؤدي التفريغ الكهربائي، المحدث من طرف وشيعة، في أنابيب النيون إلى انبعاث ضوء. ويحدث هذا التفريغ نتيجة وجود فوق توتر بين مربطي الوشيعة. ما المقادير المميزة للوشيعة؟ وما الدور الذي يمكن أن تلعبه في دارة كهربائية ؟ وكيف تفسر ظاهرة فوق التوتر؟

الأهداف

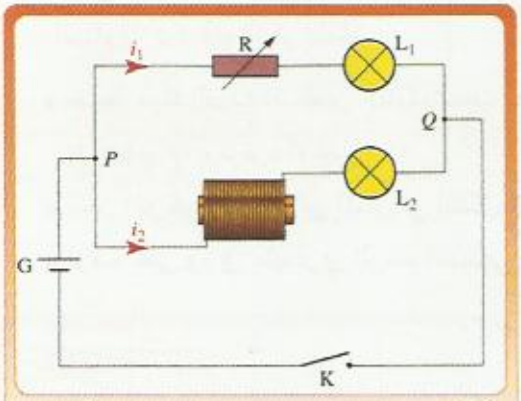
- تعرُّف التمثيل الرمزي لوشيعة ؛
- تعرُّف تعبير التوتر بين مربطي وشيعة $u = ri + L\frac{di}{dt}$ ؛
- تعرُّف معامل التحريض لوشيعة ووحدته ؛
- تعرُّف تغيرات شدة التيار الكهربائي المار في ثنائي القطب (R,L) عند مايخضع لرتبة توتر ؛
- تعرُّف تعبير ثابتة الزمن τ ؛
- تعرُّف واستغلال تعبير الطاقة الكهربائية المخزونة في وشيعة.

النشاط 1 — تأثير وشيعة في دارة كهربائية — نشاط تجريبي

تستعمل الوشيعة في عدة دارات كهربائية أو إلكترونية. ماتأثير الوشيعة على مرور التيار الكهربائي؟

العدة التجريبية : مولد التوتر المستمر، مصباحان L_1 و L_2 متشابهان، وشيعة مقاومتها R و ذات نواة من الحديد، موصل أومي مقاومته مساوية لمقاومة الوشيعة، قاطع التيار K، أسلاك الربط.

- ننجز التركيب الكهربائي الممثل جانبه.
- نغلق قاطع التيار K، ثم نلاحظ مايحدث.



1 عند إغلاق الدارة يتوهج المصباح L_2 بعد المصباح L_1 ، بثوان.

استثمار :

1. تتغير شدة التيار الكهربائي الذي ينتجه المولد فجأة من قيمة منعدمة إلى قيمة معينة .
   أ ـ هل يتألق المصباحان L_1 و L_2 مباشرة بعد إغلاق الدارة؟
   ب ـ كيف تتغير شدة التيار المار في L_1 وفي L_2 ؟
2. ماتأثير الوشيعة عند إقامة التيار الكهربائي؟
3. ماذا يحدث عند فتح الدارة؟ ماتأثير الوشيعة، عند انعدام التيار الكهربائي؟

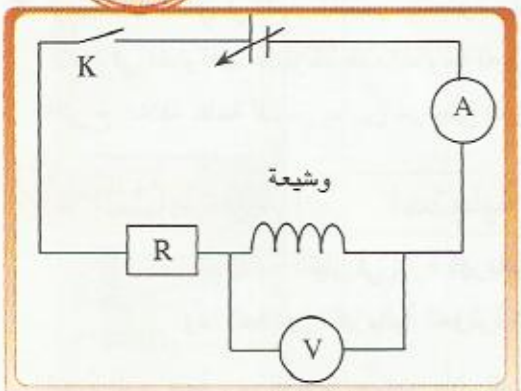
النشاط 2 — التوتر بين مربطي وشيعة — نشاط تجريبي

ما العلاقة التي تربط التوتر بين مربطي وشيعة وشدة التيار الذي يمر فيها ؟ وما المقدار الفيزيائي الذي يميز الوشيعة ؟

العدة التجريبية : مولد التردد المنخفض G.B.F (دون مأخذ أرضي)، مولد التوتر المستمر، وشيعة دون نواة الحديد معامل تحريضها الذاتي $L = 0,15H$ ومقاومتها r صغيرة (بضع أومات)، موصل أومي مقاومته $R = 10\Omega$، أسلاك الربط.

المناولة 1 : في التيار المستمر

- ننجز التركيب الكهربائي الممثل في الشكل 2 ، والذي يضم مولدا للتوتر المستمر، وأمبيرمتراً، ووشيعة مركبة على التوالي.
- نضع الفولطمتر بين مربطي الوشيعة، ونغلق قاطع التيار K.
- نغير قيم التوتر الذي يعطيه المولد، وفي كل مرة نقيس التوتر u_L بين مربطي الوشيعة وكذلك شدة التيار I المار فيها.
- ندون النتائج في جدول كالتالي :



2 تبيانة التركيب التجريبي

u_L(V)	0	0,8	1,6	2,4	3,2
I(A)	0	0,1	0,2	0,3	0,4

وشيعة	bobine	نواة الحديد	noyau de fer	إقامة	établissement	انعدام	rupture
---	---	---	---	---	---	---	---

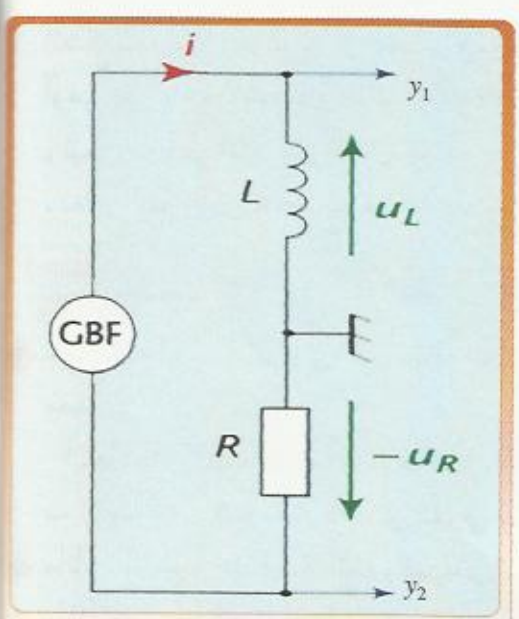
استثمار :

1. مثل المنحنى u_L بدلالة الشدة I .
2. بين أن الوشيعة تتصرف كموصل أومي.
3. حدد r مقاومة الوشيعة وقارنها بالقيمة التي يشير إليها الصانع.

استنتج العلاقة بين u_L و r و I.

المناولة 2 : في التيار المتغير

- نضبط مولد التردد المنخفض GBF، بحيث يعطي تيارا كهربائيا مثلثيا تردده f =400 Hz، وتوتره الأقصى 5V.
- ننجز التركيب الكهربائي الممثل في الشكل 3 .
- نرسم على ورق مليمتري الرسم التذبذبي المحصّل.



3 تبيانة التركيب التجريبي

استثمار :

1. لماذا يمكن المدخل y_2 لكاشف التذبذب من معاينة تغيرات شدة التيار الكهربائي المار في الدارة ؟
2. خلال النصف الأول من الدور، يمكن كتابة شدة التيار الكهربائي المثلثي على شكل : $i(t) = a.t + b$.

أ ـ حدد قيمة المعامل a ، ماوحدته؟

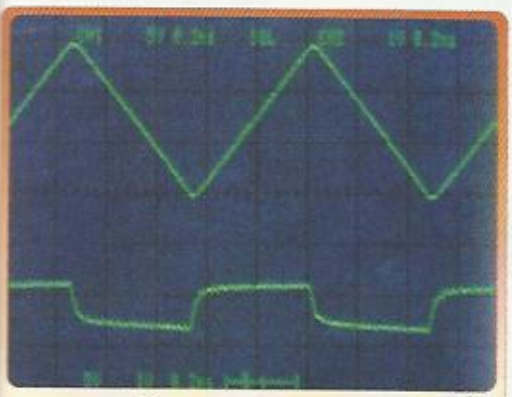
ب ـ عين، بالنسبة للنصف الأول من الدور، قيمة التوتر $u_L(t)$ بين مربطي الوشيعة، ثم أحسب النسبة $\frac{u_L(t)}{\frac{di}{dt}}$.

ج ـ قارن هذه النسبة مع L معامل التحريض الذاتي للوشيعة المستعملة .

استنتج العلاقة بين u_L و L و $\frac{di}{dt}$.

3. في المناولة 1، أي في التيار المستمر، تتصرف الوشيعة كموصل أومي مقاومته r ، وفي المناولة 2 لم تؤخذ هذه المقاومة بعين الإعتبار لكون تأثيرها مهملا.

اقترح علاقة عامة للتوتر u_L بين مربطي الوشيعة تضم r و $i(t)$ و L و $\frac{di}{dt}$.



4 مثال لرسم تذبذبي محصّل

النشاط 3 استجابة ثنائي القطب RL لرتبة توتر — نشاط تجريبي

تتم إقامة التيار في دارة كهربائية تضم وشيعة بتأخر زمني. ماهو هذا التأخر الزمني؟ وما المقادير الفيزيائية المؤثرة فيه؟

TP ن.أ

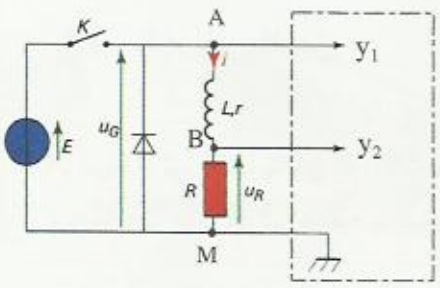
العدة التجريبية : مولد توتر مستمر قابل للضبط، موصل أومي مقاومته R قابلة للضبط، وشيعتان [($L_1 = 1,1H$ ، $r_1 = 11,6\Omega$)، ($L_2 = 0,5H$ ، $r_2 = 11,6\Omega$)]، صمام ثنائي، حاسوب ووسيط معلوماتي(أوراسم تذبذب ذاكراتي)، برنم مجدول وراسم منحنيات ملائم، أسلاك الربط.

رسم تذبذبي	oscillogramme	وسيط معلوماتي	interface	ذاكراتي	à mémoire

- ننجز التركيب الكهربائي الممثل في الشكل 5 باستعمال الوشيعة (L_1, r_1) .
- نضبط التوتر الذي يعطيه المولد على القيمة $E = 12V$ ، ونضبط مقاومة الموصل الأومي على القيمة $R = 100\Omega$.
- نغلق قاطع التيار K ، فيبدأ الوسيط المعلوماتي في تسجيل قيم التوتر $u_R(t)$ بدلالة الزمن .

استثمار :

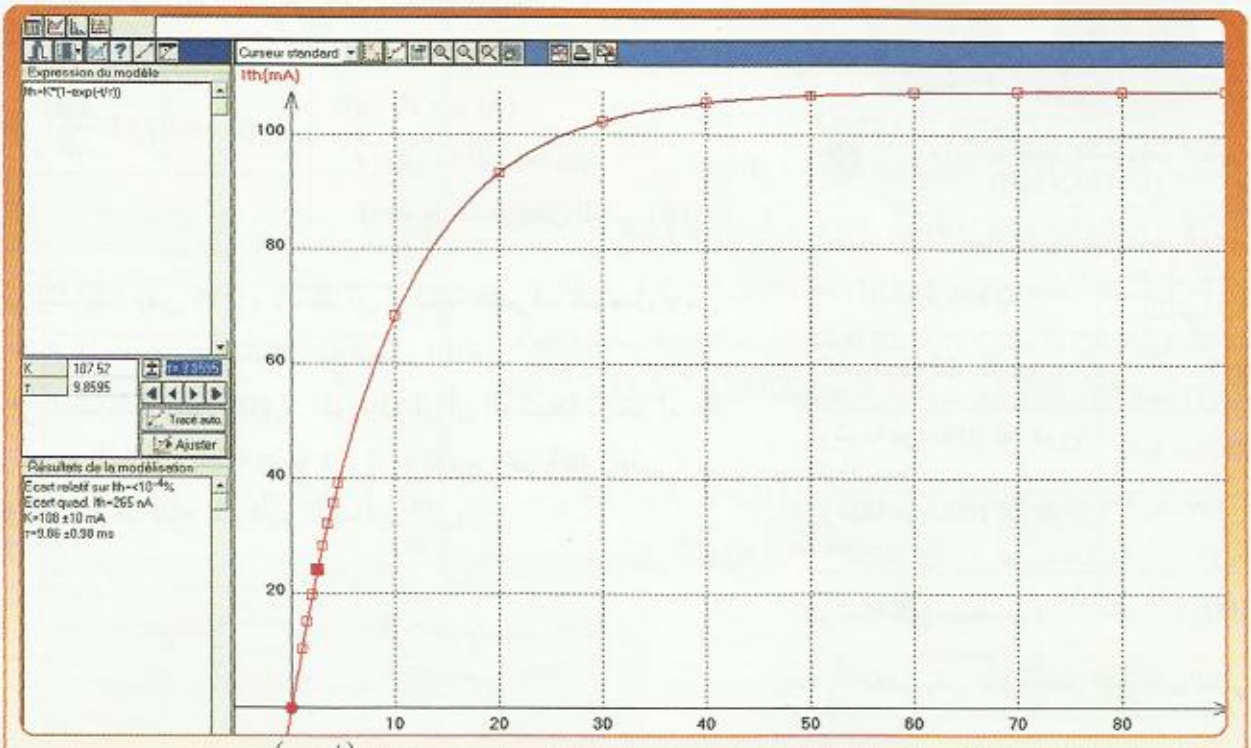
1. لماذا يمكّن المدخل y_2 من معاينه تغيرات شدة التيار الكهربائي بدلالة الزمن؟
2. باستعمال برنم مجدول وراسم منحنيات:
   - 1.2. مثل المنحنى $i(t)$ ، ثم حدد عليه النظامين الانتقالي والدائم؟
   - 2.2. بين أنه يمكن نمذجة $i(t)$ بالدالة $i(t) = k\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$. حدد الثابتتين k و τ .
3. ما قيمة شدة التيار قبل إغلاق الدارة ؟ ومباشرة بعد إغلاقها ؟ ماذا تستنتج ؟
4. نعيد نفس التجربة السابقة بعد تغيير:
   - قيمة L : $L = 0,5H$ ، $R = 100\Omega$ ، $E = 12V$.
   - قيمة R : $L = 1,1H$ ، $R = 50\Omega$ ، $E = 12V$.
   - قيمة E : $L = 1,1H$ ، $R = 100\Omega$ ، $E = 6V$.
   - 1.4. أنقل الجدول جانبه على دفترك ثم دوّن عليه قيم τ المحصلة في التجارب الثلاث.
   - 2.4. هل تؤثر L و R و E على قيمة τ ؟ قارن τ مع النسبة $\frac{L}{R}$.



5 تبيانة التركيب التجريبي. يمكن الصمام الثنائي من تجنب فرط التوتر الذي يحدث بين A و M عند فتح قاطع التيار K .

R(Ω)	100	50	100
L(H)	0,5	1,1	1,1
E(V)	12	12	6
τ(s)			

جدول القياسات



6 نمذجة شدة التيار الكهربائي $i(t)$ المار في الوشيعة بواسطة برنم ريغريسي بالدالة $i(t) = k\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$

1 الوشيعة

1.1 - التعريف والرمز

أ - تعريف :

الوشيعة ثنائي قطب يتكون من لفات، من سلك من النحاس، غير متصلة فيما بينها لكونها مطلية ببرنيق عازل للكهرباء.

مثال : تحتوي الوشيعات المستعملة في المختبرات على بضع مئات من اللفات (الشكل 7).

ب - رمز الوشيعة :

لتمثيل الوشيعة يستعمل أحد الرمزين التاليتين :

حيث r مقاومة الوشيعة، و L معامل يميز الوشيعة يسمى **معامل التحريض الذاتي** وحدته في النظام العالمي للوحدات: الهنري Henry (H) نسبة للعالم الفيزيائي (جوزيف هنري).

وتقاس L بواسطة مقياس معامل التحريض الذاتي (الشكل 9).

2.1 - التوتر بين مربطي وشيعة

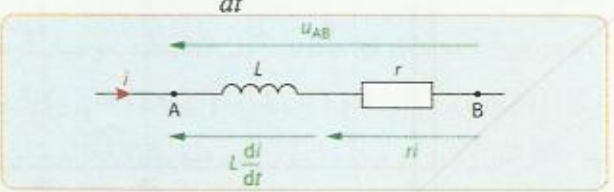
بالنسبة لوشيعة دون نواة من الحديد، وفي الإصطلاح مستقبل يعبر عن التوتر $u_L(t)$ بين مربطي وشيعة بالعلاقة:

$$u_L(t) = ri(t) + L\frac{di(t)}{dt}$$

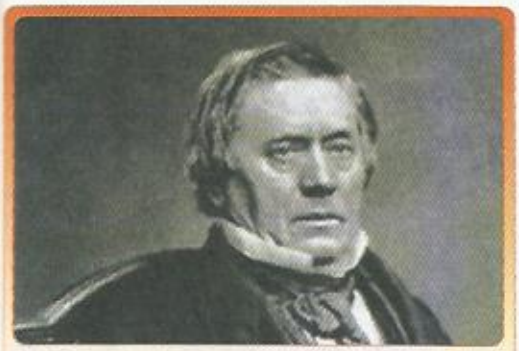
- $u_L(t)$ بالفولط (V)
- $i(t)$ بالأمبير (A)
- r مقاومة الوشيعة (Ω)
- L معامل التحريض الذاتي (H)

■ في النشاط 2 (ص 116)، لاحظنا أن الوشيعة تتصرف كموصل أومي في التيار المستمر، وهذا مايعبر عنه الجداء $r.i(t)$.

■ في النشاط 1 (ص 116) نتوصل إلى أن الوشيعة تؤخر إقامة أو انعدام التيار. وبصفة عامة فالوشيعة تقاوم تغير شدة التيار الذي يمر فيها. وهذا ناتج عن تأثير الجداء $L\frac{di(t)}{dt}$.



7 أمثلة لوشيعات



8 الفيزيائي جوزيف هنري (1797م- 1878م)

9 مقياس معامل التحريض الذاتي
(L = 43,3 mH)

أمثلة لوشيعات	معامل التحريض الذاتي L(H)
لفة واحدة قطرها 1m	10^{-6}
وشيعة من 1000 لفة دون نواة حديد	10^{-3}
وشيعة من 1000 لفة بنواة حديد	1
وشيعة كهرمغنطيس	100

بعض رتب قدر معامل التحريض الذاتي

برنيق Vernis	معامل التحريض الذاتي coefficient d'auto -inductance	مقياس معامل التحريض الذاتي inductancemètre	

3.1 ـ استغلال تعبير التوتر بين مربطي وشيعة

عند إهمال مقاومة الوشيعة، يصبح تعبير التوتر $u_L(t)$ بين مربطيها كالتالي :

$$u_L(t) = L\frac{di(t)}{dt}$$.

ـ إذا كانت شدة التيار $i(t)$ تزايدية : $u_L(t) > 0$ ؛

ـ إذا كان تغير شدة التيار سريعا جدا يأخذ الاشتقاق $\frac{di}{dt}$ قيمة كبيرة جدا و$u_L(t)$ أيضا تأخذ قيمة كبيرة، أي يظهر بين مربطي الوشيعة فرط توتر. تستعمل هذه الظاهرة مثلا لإحداث شرارات بين مربطي شمعة المحرك الذي يشتغل بالبنزين. ويبين (الشكل 10) ، تجربة تمكن من إبراز ظاهرة فرط التوتر التي تحدث عند إغلاق دارة كهربائية أو فتحها. وتستعمل كذلك في إضاءة مصابيح النيون.

10 تحريك السن الفلزي على المبرد، يمكن من فتح وغلق الدارة بصفة متتالية. فتحدث ظاهرة فرط توتر تؤدي إلى ظهور الشرارات

تمرين تطبيقي

نعتبر وشيعة مقاومتها $r = 10\Omega$ ومعامل تحريضها الذاتي $L = 1{,}0H$.

1 ـ أحسب التوتر $u_L(t)$ بين مربطي الوشيعة عندما يمر فيها تيار كهربائي مستمر شدته $i = 1{,}0A$.

2 ـ ماقيمة $u_L(t)$ عندما يتغير التيار $i(t)$ بصفة خطية من القيمة صفر إلى القيمة 1,0A خلال المدة 1,0ms ؟

حـل

1 ـ $i = cte$ أي $L.\frac{di}{dt} = 0$ ومنه $u_L = r.i$.

ت. ع $u_L = 10 \times 1 = 10V$

2 ـ عند تغير i خطيا من 0 إلى 1A .

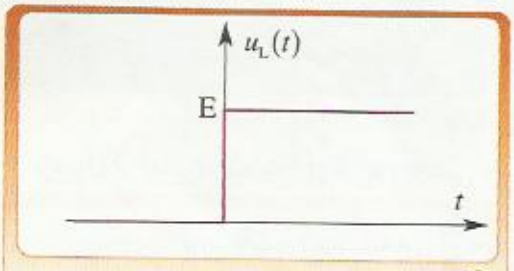
$$\frac{di}{dt} = 1{,}0 \times 10^3 A.s^{-1}$$

أي أن : $u_L = r.i + L.\frac{di}{dt} = 10 + 1000 = 1010V$.

2 ثنائي القطب RL

يتكون ثنائي القطب RL من موصل أومي مقاومته R مركب على التوالي مع وشيعة مقاومتها r ، ومعامل تحريضها الذاتي L .

المقاومة الكلية R_t لثنائي القطب هذا هي $R_t = R + r$.



11 رتبة توتر صاعدة

1.2 ـ استجابة ثنائي القطب RL لرتبة صاعدة للتوتر

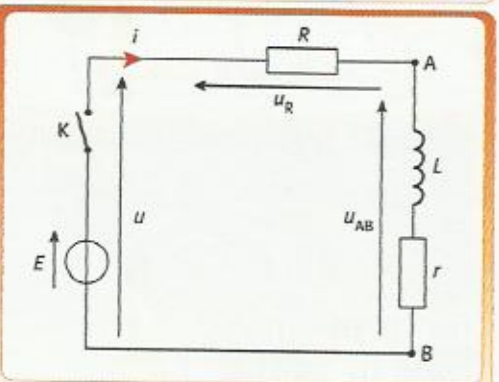
نعتبر الدارة RL الممثلة في (الشكل 12) . عند إغلاق الدارة في لحظة $t = 0$ ، يأخذ التوتر u_{AB} بين مربطي الدارة RL لحظيا القيمة E (رتبة صاعدة للتوتر) . تمثل $i(t)$ شدة التيار الذي يمر في الدارة عند إقامة التيار استجابة ثنائي القطب RL لرتبة توتر .

يُمكّن تطبيق قانون إضافية التوترات من كتابة العلاقة $u_{AB} + R.i = E$.

بما أن : $u_{AB} = r.i + L.\frac{di}{dt}$ ، فإن : $L.\frac{di}{dt} + (R + r)i = E$.

أي : $L.\frac{di}{dt} + R_t.i = E$ ، مع $R_t = R + r$.

$\tau.\frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R_t}$ مع $\tau = \frac{L}{R_t}$.



12 توجيه الدارة وتمثيل التوترات

فرط توتر	surtension	سن	pointe	شرارة	étincelle	استجابة	réponse

يكتب حل هذه المعادلة على شكل :

$i(t)=\mathrm{A}.e^{-mt}+\mathrm{B}$ حيث A و m و B ثوابت : $\frac{di}{dt}=-m\mathrm{A}.e^{-mt}$.

نعوض في المعادلة التفاضلية فنجد : $-\tau m\mathrm{A}.e^{-mt}+\mathrm{A}.e^{-mt}+\mathrm{B}=\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}_t}$

$$\mathrm{A}.e^{-mt}(-\tau m+1)=\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}_t}-\mathrm{B}$$

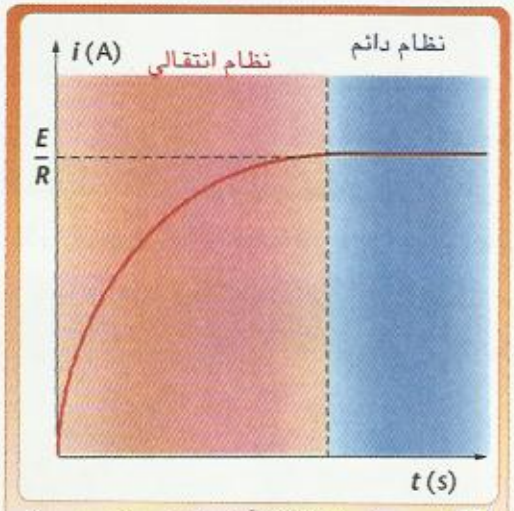
تتحقق هذه المعادلة كيفما كانت t ، في حالة : $-\tau m+1=0$.

أي : $m=\frac{1}{\tau}=\frac{\mathrm{R}_t}{\mathrm{L}}$ وبالتالي : $\mathrm{B}=\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}_t}$.

لتحديد الثابتة A نعتبر الشروط البدئية $i(0)=0$ وهي ناتجة عن كون $i(t)$ دالة متصلة في أي لحظة من لحظات تشغيل الوشيعة، بما في ذلك اللحظة $t=0$ ؛ بحيث يمكن أن نكتب $i(t)=i(t-\varepsilon)=i(t+\varepsilon)$ ، ε عدد موجب قريب من الصفر . (النشاط 3 ص 123) .

$i(0)=\mathrm{A}+\mathrm{B}=0$ أي $\mathrm{A}=-\mathrm{B}=-\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}_t}$

ومنه $i(t)=\mathrm{I}_0.\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ مع $\mathrm{I}_0=\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}_t}$



13 يبين منحنى $i(t)$ التأخر الزمني الذي يحدث عند إقامة التيار في دارة تضم وشيعة (نظام انتقالي)

تحقق شدة التيار $i(t)$ المار في ثنائي قطب RL خاضع لرتبة توتر صاعدة المعادلة التفاضلية: $\tau.\frac{di}{dt}+i=\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}_t}$ مع $\tau=\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{R}_t}$. حل هذه المعادلة عندما تكون $i(0)=0$ هو : $i(t)=\mathrm{I}_0.\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ مع $\mathrm{I}_0=\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}_t}$.

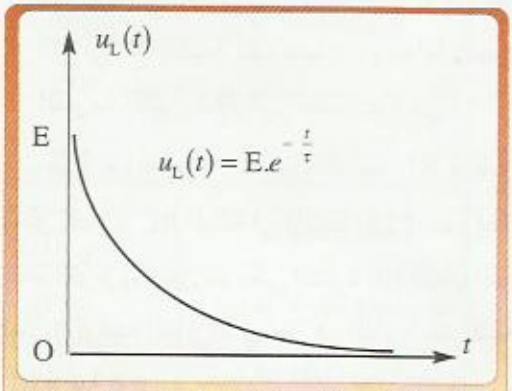
2.2 ـ تعبير التوتر بين مربطي وشيعة

حسب قانون إضافية التوترات لدينا : $\mathrm{E}=\mathrm{R}i+u_{\mathrm{L}}(t)$

$$u_{\mathrm{L}}(t)=\mathrm{E}-\mathrm{R}i(t)=\mathrm{E}-\mathrm{R}.\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}_t}\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

بإهمال r أمام R تصبح $\mathrm{R}_t=\mathrm{R}$ وبالتالي :

$\boxed{u_{\mathrm{L}}(t)=\mathrm{E}.e^{-\frac{t}{\tau}}}$ مع $\boxed{\tau=\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{R}}}$.



14 يتناقص التوتر $u_{\mathrm{L}}(t)$ أسيا مع الزمن عند إقامة التيار
($u_{\mathrm{L}}(t)$ دالة غير متصلة عند $t=0$)

3.2 ـ ثابتة الزمن $\tau=\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{R}_t}$

أ ـ معادلة الأبعاد للمقدار $\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{R}_t}$

بالنسبة لوشيعة مثالية (مقاومتها مهملة)

أي $u_{\mathrm{L}}=\mathrm{L}\frac{di}{dt}$ ، $[\mathrm{U}]=[\mathrm{L}].\frac{[\mathrm{I}]}{[t]}$ ، $[\mathrm{L}]=\frac{[\mathrm{U}][t]}{[\mathrm{I}]}$

أي $u_{\mathrm{R}}=\mathrm{R}i$ ، $[\mathrm{U}]=[\mathrm{R}].[\mathrm{L}]$ ، $[\mathrm{R}]=\frac{[\mathrm{U}]}{[\mathrm{I}]}$

$$\frac{[\mathrm{L}]}{[\mathrm{R}]}=\frac{[\mathrm{U}][t]}{[\mathrm{I}]}\times\frac{[\mathrm{I}]}{[\mathrm{U}]}=[t]$$

$\tau=\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{R}_t}$ لها بعد زمني، تسمى ثابتة الزمن وهي تميز ثنائي القطب (RL).

équation aux dimensions	معادلة الأبعاد	exponentiel	أسي	établissement	إقامة

ب - طرق تحديد τ .

يبين الشكل15 طريقتي تحديدτ اللتين سبق استعمالهما بالنسبة للدارة RC

4.2 - انعدام التيار في دارة تضم ثنائي قطب RL

يمثل الشكل 16 الدارة المكافئة خلال انقطاع التيار. حيث يتغير التوتر بين مربطي ثنائي القطبRL من القيمة E إلى القيمة صفر(رتبة توتر نازلة).

بتطبيق قانون إضافية التوترات نجد: $L\frac{di}{dt}+(R+r)i=0$ ،

أي $\tau\frac{di}{dt}+i=0$ مع $\tau=\frac{L}{R+r}=\frac{L}{R_t}$.

حل هذه المعادلة التفاضلية هو:

$$i(t)=I_0.e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{مع} \quad \tau=\frac{L}{R_t} \quad \text{و} \quad I_0=\frac{E}{R_t}$$

باعتبار $i(0)=I_0$.

ملحوظة :

- تحدد ثابتة الزمن مبيانيا باستعمال العلاقة: $i(\tau)=I_0.e^{-1}=0,37I_0$

- كلما كانتτ صغيرة كلما كانت مدة إقامة أو انعدام التيار صغيرة.

3 الطاقة المخزونة في وشيعة

1.3 - الإبراز التجريبي

نعتبر التجربة الممثلة في الشكل 18.

- عندما نغلق قاطع التيارK ، يمر تيار كهربائي في الوشيعة. يمنع الصمام الثنائي المركب في المنحى الحاجز مرور التيار الكهربائي في المحرك.

- عندما نفتح قاطع التيارK يشتغل المحرك فيرتفع الجسم.

وهكذا يتبين أن الوشيعة اختزنت، أثناء إغلاق دارتها الكهربائية ، طاقة مغنطيسية في الفضاء المحيط بها، ثم حررت هذه الطاقة عند فتح الدارة.

2.3 - تعبير الطاقة المخزونة في وشيعة

عند إغلاق قاطع التيار K ، تكتب المعادلة التفاضلية التي تحققها شدة التيار الكهربائي i كالتالي : $E=Ri+L\frac{di}{dt}$.

نضرب هذه العلاقة في المقدار i فنجد : $Ei=Ri^2+L\frac{di}{dt}i$.

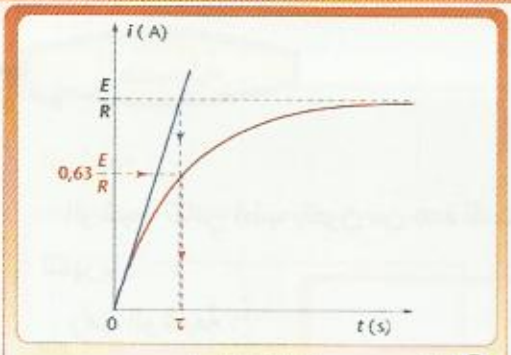
أي : $Eidt=Ri^2dt+d\left(\frac{1}{2}Li^2\right)$.

يمثل المقدار $Eidt$ الطاقة التي يمنحها المولد للوشيعة خلال المدة dt . الجزء Ri^2dt من هذه الطاقة يتبدد على شكل حرارة بمفعول جول، والجزء الآخر $d\left(\frac{1}{2}Li^2\right)$ يخزن في الوشيعة.

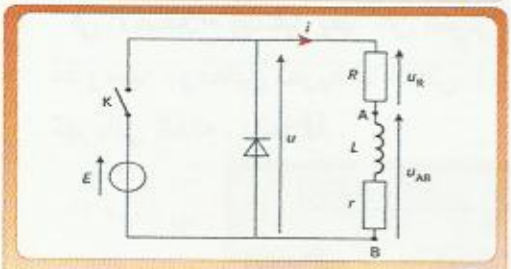
الطاقة المغنطيسية المخزونة في الوشيعة بين اللحظتين 0 و t هي :

$$\xi_m=\int_0^t d\left(\frac{1}{2}Li^2\right)=\frac{1}{2}Li^2$$

تتناسب الطاقة المخزونة في وشيعة، معامل تحريضها الذاتيL ، مع مربع شدة التيار الكهربائي المار فيها : $\xi_m=\frac{1}{2}L.i^2$ (J) (H) (A)

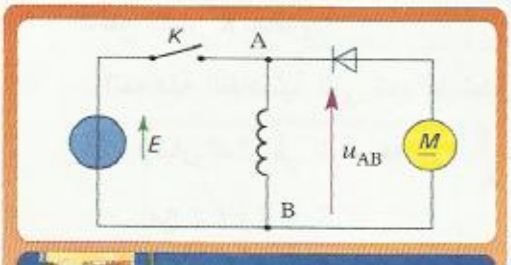


15 تحديد τمبيانيا بطريقتين



16 فتح K : إنعدام التيار الكهربائي. الصمام الثنائي يمكن من تجنب ظهور الشرارات الناتجة عن فرط التوتر

17 القوس الكهربائي الناتج عن فرط التوتر يسبب إتلاف قاطع التيار



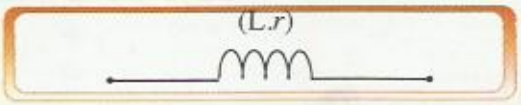
18 إبراز الطاقة المخزونة في وشيعة

الحصيلة

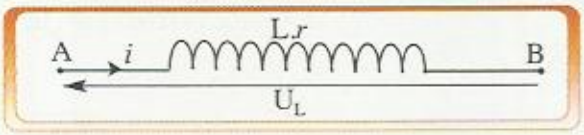
الوشيعة :

الوشيعة ثنائي قطب يتكون من عدة لفات، من سلك من النحاس، غير متصلة فيما بينها لكونها مطلية ببرنيق عازل للكهرباء.

رمز الوشيعة :



في الاصطلاح مستقبل يعبر عن التوتر u بين مربطي وشيعة، مقاومتها r ومعامل تحريضها الذاتي L، عندما يجتازها تيار كهربائي شدته i بالعلاقة :



$$u = L\frac{di}{dt} + ri$$

معامل تحريض الوشيعة (H) — مقاومة الوشيعة (Ω)

شدة التيار المار في الوشيعة في (A)

الطاقة المخزونة في الوشيعة :

يمكن للوشيعة تخزين طاقة مغنطيسية تعبيرها :

$$\xi_{m_L} = \frac{1}{2}L \cdot i^2$$

(J) ← ξ_{m_L} ; L → (H) ; i → (A)

التيار الكهربائي المار في الوشيعة دالة متصلة في أي لحظة من لحظات تشغيل الوشيعة، بما في ذلك اللحظة $t = 0$ بحيث يمكن أن نكتب $i(t) = i(t - \varepsilon) = i(t + \varepsilon)$ ، ε عدد موجب قريب من الصفر.

ثنائي القطب RL :

ثنائي القطب RL هو تركيب على التوالي لوشيعة معامل تحريضها الذاتي L ومقاومتها r وموصل أومي مقاومته R.

- إقامة التيار

قاطع التيار K مغلق.

. المعادلة التفاضلية التي تحققها شدة التيار i

شدة التيار المار في الوشيعة هي: $\tau.\frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R_t}$

مع : $R_t = R + r$

. حل هذه المعادلة هو: $i(t) = \frac{E}{R_t}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$

$\tau = \frac{L}{R_t}$ تسمى ثابتة الزمن للدارة وحدتها (s) وتحدد بطرق مختلفة.

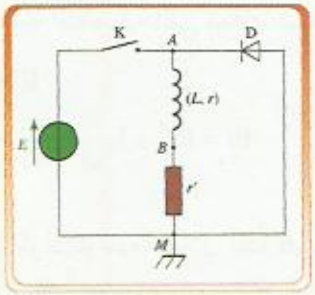
- انعدام التيار

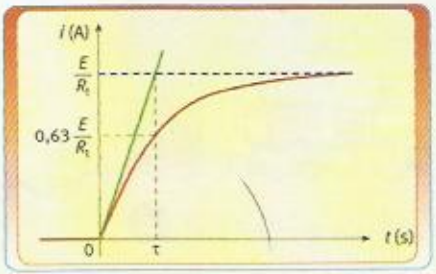
قاطع التيار K مفتوح

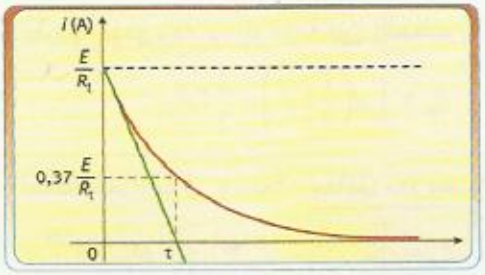
. المعادلة التفاضلية التي تحققها شدة التيار هي : $\tau.\frac{di}{dt} + i = 0$

مع : $R_t = R + r$

. حل هذه المعادلة هو : $i(t) = \frac{E}{R_t}e^{-\frac{t}{\tau}}$



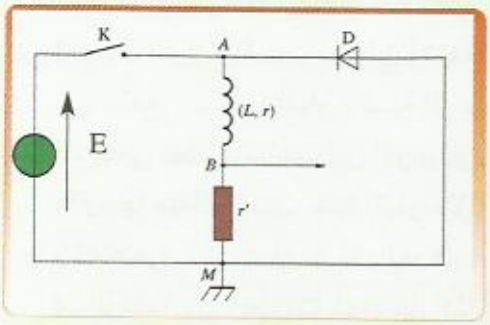




تمرين محلـول

انعدام التيار في وشيعة

ننجز التركيب التجريبي الممثل في الشكل جانبه، حيث التوتر E بين مربطي المولد ثابت.



1- نغلق قاطع التيار K .

أ- في أي فرع من الدارة يمر التيار الكهربائي؟ وفي أي منحى؟

ب- أوجد تعبير شدة التيار I_p في النظام الدائم.

2- نفتح قاطع التيار K عند اللحظة $t=0$ ونعاين التوتر بين مربطي الموصل الأومي ذي المقاومة r'.

أ- في أي فرع من الدارة يمر التيار الكهربائي؟ وفي أي منحى؟

ب- ما شدة التيار i عند اللحظة $t=0$ ؟

ج- مثل بدون سلم شكل المنحنى المحصّل.

3- أ- أوجد المعادلة التفاضلية التي تحققها شدة التيار $i(t)$ في الوشيعة بدلالة I_p و $\tau=\frac{L}{R}$. ما المدلول الفيزيائي للثابتة τ؟

ب- بين أن حل المعادلة التفاضلية هو: $i=I_p e^{-\frac{t}{\tau}}$.

إرشادات

1 - تذكر كيفية اشتغال الصمام الثنائي في دارة :

لايسمح الصمام الثنائي بمرور التيار إلا في المنحى المباشر وهو المنحى المشار إليه من خلال رمزه.

2 - استحضار خاصية التيار الكهربائي في وشيعة: التيار في الوشيعة دالة متصلة.

3 - أ- استعمال قانون إضافية التوترات وقانون أوم.

معرفة أن التوتر بين مربطي صمام ثنائي يكون منعدما، عندما يمر فيه التيار .

ب- معرفة أن : $\frac{d}{dt}e^{at}=ae^{at}$.

حـل

1- أ- لايسمح الصمام بمرور التيار الكهربائي إلا في المنحى المباشر $\xrightarrow{i}$ وبالتالي فإن التيار الكهربائي يمر في الفرع الذي يضم الوشيعة والموصل الأومي ومنحاه من A نحو B .

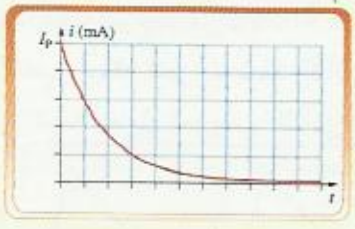
ب- في النظام الدائم، تتصرف الوشيعة كموصل أومي مقاومته r ومنه فإن المقاومة الإجمالية للدارة هي $r+r'$. إذن : $I_p=\frac{E}{(r+r')}$.

2- أ- عند فتح قاطع التيار، يمر التيار الكهربائي الإنتقالي كذلك من A نحو B وذلك لأن التيار في الوشيعة دالة متصلة ويجتاز التيار الصمام في المنحى المار.

ب- عند اللحظة $t=0$ ، $i=I_p$ لأن شدة التيار الكهربائي دالة متصلة.

ج- شدة التيار تتناقص أسيا إلى أن تنعدم عند $t\to\infty$.

تكون تغيرات i بدلالة الزمن كالشكل جانبه .



3- أ- بتطبيق قانون إضافية التوترات لدينا: $u_{AM}=u_{AB}+u_{BM}$.

أي : $0=L\frac{di}{dt}+ri+r'i$. نضع $R=r+r'$ فنكتب : $L\frac{di}{dt}+Ri=0$.

نضع : $\tau=\frac{L}{R}$ ، فنجد : $\tau\frac{di}{dt}+i=0$.

ب- لدينا $i=I_p e^{-\frac{t}{\tau}}$ و $\frac{di}{dt}=-\frac{I_p}{\tau}e^{-\frac{t}{\tau}}$ نعوض في المعادلة التفاضلية فنجد

$\tau\left(-\frac{I_p}{\tau}e^{-\frac{t}{\tau}}\right)+I_p e^{-\frac{t}{\tau}}=0$ أي أن المعادلة التفاضلية تتحقق.

تمارين لاختبار المعارف

1 أنقل النص على دفترك واملإ الفراغ :

1 - وشيعة مقاومتها r تكافئ التركيب على .....
لوشيعة مقاومتها مهملة و ..... مقاومته r .

2 - ..... التوتر U_L بين مربطي وشيعة مقاومتها مهملة
.... مع..... شدة التيار بالنسبة للزمن.

3 - يسمى معامل التناسب بين التوتر بين مربطي وشيعة مقاومتها مهملة و ..... شدة التيار دلالة الزمن، ....
وحدته هي ..... يرمز له بالحرف ..... .

4 - الوشيعة..... تغيرات شدة التيار المار في الدارة التي توجد فيها.

5 - النسبة $\frac{L}{R}=\tau$ تسمى... لثنائي القطب RL وحدتها...

2 صحيح أم خطأ :

1 - إقامة التيار في ثنائي القطب RL تكون أسرع كلما كانت النسبة $\frac{R}{L}$ أقل.

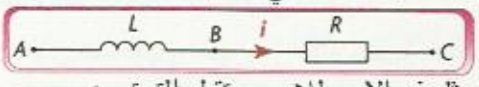
2 - الطاقة المخزونة في الوشيعة تكون أكبر كلما كان معامل التحريض الذاتي أقل.

3 - في النظام الدائم تتصرف الوشيعة (L,r) كموصل أومي مقاومته r .

تمارين تطبيقية

3 التوتر بين مربطي وشيعة

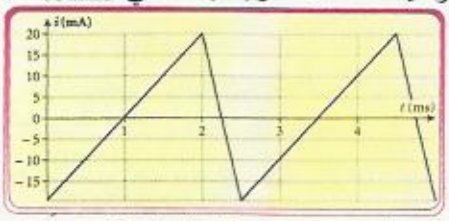
يمثل الشكل أسفله ثنائي قطب RL .



1 - مثل في الإصطلاح مستقبل التوترين u_L و u_R .

2 - أكتب تعبير التوتر $u_{AC}(t)$ بدلالة R و L و $i(t)$.

4 يمثل المنحنى أسفله تغيرات شدة التيار الكهربائي الذي يمر في وشيعة معامل تحريضها الذاتي L = 65mH.



1 - أكتب تعبير التوتر بين مربطي الوشيعة u_L واحسب قيمته في مختلف المجالات.

2 - مثل في نفس المعلم المنحنيين الممثلين لتغيرات شدة التيار i والتوتر u_L.

أجوبة: 1 - $u_L=L\frac{di}{dt}$ ، في المجال $[0,2ms]$ $u_L=1,3V$
في المجال $[2ms\ ,\ 2,5ms]$: $u_L=-5,2V$.

5 نعتبر وشيعة معامل تحريضها الذاتي $L=42,2mH$ ومقاومتها $r=8,5\Omega$.

1 - أحسب قيمة التوتر بين مربطي الوشيعة عندما يجتازها تيار كهربائي شدته $i=1,20A$.

2 - يمر في الوشيعة تيار كهربائي متغير $i=(1,50-200t)(A)$

أ - ما قيمة التوتر بين مربطي الوشيعة عند اللحظة $t=0$ ؟

ب - في أي لحظة t_1 ينعدم التوتر بين مربطي الوشيعة؟

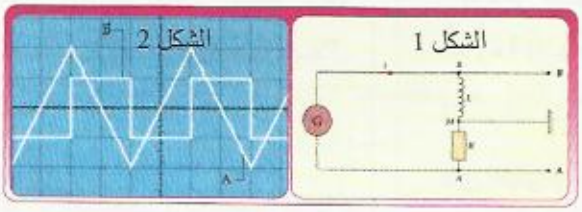
أجوبة:

1 - $u_L=10,2V$ **2 -** أ- $U_L=4,31V$ ب - $t_1\approx 2,5ms$.

6 دراسة وشيعة:

يمثل الشكل 1 تبيانة التركيب على التوالي لوشيعة معامل تحريضها الذاتي L ومقاومتها مهملة وموصل أومي مقاومته R=5kΩ ومولد تردد منخفض يغذي الدارة بتوتر مثلثي.

نعاين على شاشة راسم التذبذب التوترين $u_{BM}(t)$ و $u_{AM}(t)$ (الشكل 2).



1 - أ - عبر عن التوتر $u_{BM}(t)$ بدلالة $i(t)$ و L.

ب - عبر عن $u_{AM}(t)$ بدلالة R و $i(t)$.

ج - استنتج العلاقة : $u_{BM}(t)=\frac{-L}{R}.\frac{du_{AM}}{dt}$

2 - نلاحظ أن التوتر $u_{BM}(t)$ مربعي والتوتر $u_{AM}(t)$ مثلثي علل ذلك.

3 - أحسب معامل التحريض الذاتي L للوشيعة .

4 - أحسب الطاقة القصوى ξ_m المخزونة في الوشيعة.

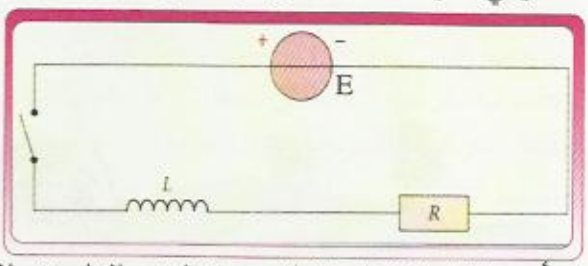
نعطي الحساسية الرأسية 2V / div بالنسبة للمدخل A.
و 0,2V / div بالنسبة للمدخل B .
والحساسية الأفقية 0,2ms / div .

أجوبة: 1 - أ - $u_{BM}=L\frac{di}{dt}$ ، ب - $u_{AM}(t)=Ri(t)$.

3 - $L=50mH$. **4 -** $\xi_m=\frac{1}{2}LI_m^2=16.10^{-9}J$.

7 تحديد ثابتة الزمن

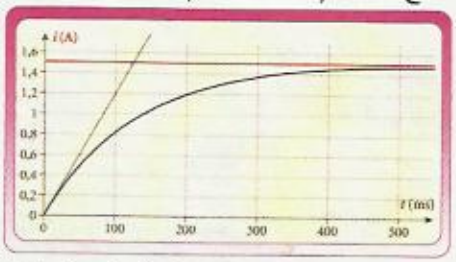
نعتبر التركيب الممثل في الشكل أسفله حيث الوشيعة مقاومتها مهملة ومعامل تحريضها الذاتي L، والموصل الأومي مقاومته $R = 8,0\Omega$ والقوة الكهرمحركة للمولد E.



1 ـ أوجد المعادلة التفاضلية التي تحققها شدة التيار $i(t)$ المار في الدارة.

2 ـ تحقق من أن حل هذه المعادلة يكتب على شكل: $i(t) = A\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ وحدد الثابتين A و τ.

3 ـ نعاين على شاشة حاسوب تغيرات شدة التيار $i(t)$ بعد غلق قاطع التيار (الشكل أسفله).



1.3. عين مبيانيا القيمة I_0 لشدة التيار في النظام الدائم، و استنتج قيمة القوة الكهرمحركة E.

2.3. حدد مبيانيا قيمة ثابتة الزمن τ.

استنتج قيمة معامل التحريض الذاتي L.

أجوبة :

1 ـ $\frac{L}{R}\cdot\frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R}$ 2 ـ $A = \frac{E}{R}$ و $\tau = \frac{L}{R}$.

1.3 $I_0 = 1,5A$ و $E = 12V$.

2.3 $\tau = 125ms$ و $L = 1H$.

تمارين توليفية

8 طريقة أولير (méthode d'euler)

نركب على التوالي وشيعة معامل تحريضها $L = 1,0H$ وموصلا أوميا مقاومته $R = 1,0\ k\Omega$ ومولداً قوته الكهرمحركة $E = 5,0V$ وقاطعاً للتيار K.

نغلق قاطع التيار عند اللحظة $t = 0$.

1 ـ أ ـ أوجد المعادلة التفاضلية التي تحققها شدة التيار $i(t)$ المار في الدارة.

ب ـ اعط القيمة البدئية لشدة التيار $i(0)$.

2 ـ أ ـ انطلاقا من المعادلة التفاضلية احسب القيمة البدئية $\frac{di}{dt}(0)$

ب ـ تمكن طريقة (أولير) من حساب $i(t)$ و $\frac{di}{dt}$ خلال كل مدة زمنية Δt.

حسب تعريف الاشتقاق، إذا كانت Δt صغيرة فإن :

$i(t_{n+1}) = i(t_n) + \frac{di}{dt}(t_n)\Delta t$. نختار $\Delta t = 5,10^{-5}s$

أنقل الجدول أسفله على دفترك واملأه بتطبيق طريقة أولير.

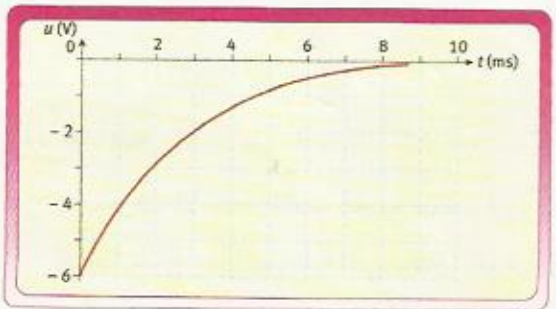
1,5	1	0,5	0	$t(\times 10^{-4}s)$
				$i(t)$
				$\frac{di}{dt}$

3 ـ أ ـ حل المعادلة التفاضلية يكتب على الشكل التالي : $i(t) = A\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$. حدد قيمتي A و τ.

ب ـ احسب القيم النظرية لشدة التيار في اللحظات المدونة في الجدول السابق. كيف يمكن تحسين دقة حساب شدة التيار باستعمال طريقة (أولير) ؟

9 انعدام التيار في وشيعة

نركب وشيعة مقاومتها r ومعامل تحريضها الذاتي $L = 100mH$ على التوالي مع موصل أومي مقاومته $R = 33\Omega$ ومولد قوته الكهرمحركة E وقاطع التيار ذي موضعين. نركب صماما ثنائيا على التوازي مع ثنائي القطب RL. نفتح قاطع التيار K ونعاين على شاشة حاسوب تغير التوتر $u(t)$ بين مربطي الوشيعة (الشكل أسفله).



1 ـ أرسم تبيانة التركيب التجريبي.

2 ـ أ ـ حدد مبيانيا بطريقتين مختلفتين ثابتة الزمن τ لثنائي القطب RL.

ب ـ استنتج قيمة المقاومة الداخلية r للوشيعة.

9 الذبذبات الحرة في دارة RLC متوالية

Les oscillations libres dans un circuit RLC série

تعتمد الهوائيات في اشتغالها على متذبذبات كهربائية مكونة من دارات RLC متوالية.

ما مميزات هذه الدارات ؟ وما تعبير ترددها الخاص ؟

الأهداف

- تعرُّف الأنظمة الثلاثة لتفريغ مكثف في وشيعة ؛
- إثبات المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر بين مربطي مكثف وحلها في حالة الخمود المهمل ؛
- تعرُّف وتفسير التحولات الطاقية بالنسبة للأنظمة الثلاثة ؛
- تعرف كيفية صيانة الذبذبات الكهربائية للدارة RLC المتوالية.

النشاط 1 — تفريغ مكثف في وشيعة

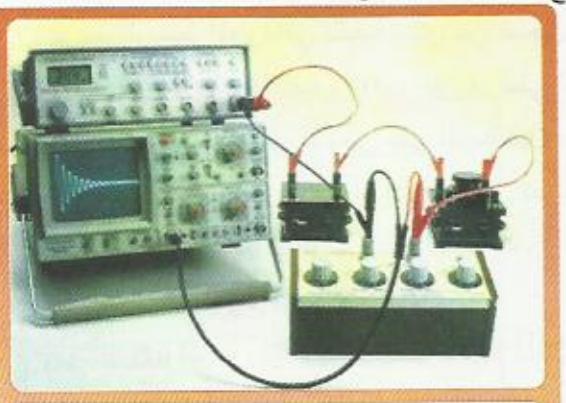
نشاط تجريبي

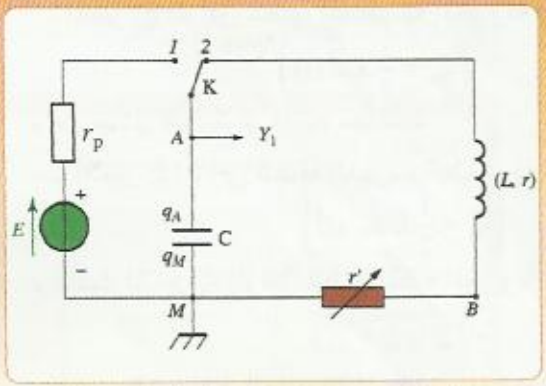
كيف يتم تفريغ مكثف في وشيعة ؟ وما تأثير مختلف عناصر الدارة RLC المتوالية على هذا التفريغ ؟

TP أ ت

العدة التجريبية : مولد التوتر المستمر قابل للضبط ، مكثفات سعاتها مختلفة، وشيعات معاملات تحريضها الذاتي مختلفة ، موصل أومي مقاومته r' قابلة للضبط، مقاومة الوقاية r_p، وسيط معلوماتي وحاسوب، برنم ملائم يعالج المعطيات أو راسم التذبذب ذاكراتي ، قاطع التيار، أسلاك الربط.

- ننجز التركيب الكهربائي الممثل جانبه.
- نضبط التوتر المستمر الذي يعطيه المولد على القيمة E = 3V ومقاومة الموصل الأومي على القيمة r'= 0 Ω .
- نؤرجح قاطع التيار إلى الموضع 1 لمدة زمنية كافية لشحن المكثف كليا.
- نؤرجح قاطع التيار إلى الموضع 2، فنحصل على دارة RLC متوالية مقاومتها الكلية R = r +r' ، حيث r هي مقاومة الوشيعة .
- نعاين التوتر $u_c(t)$ بين مربطي المكثف.
- نعيد التجربة عدة مرات برفع قيمة المقاومة r'.





1 تركيب تجريبي يمكن من دراسة تفريغ مكثف في وشيعة وتبيانته

استثمار :

1 يمثل الرسم التذبذبي الممثل باللون الأصفر في الشكل 2 ، نموذجا للمنحنى المحصل بالنسبة لـ r'= 0 .

1.1 - كيف يتغير وسع التوتر $u_c(t)$؟ هل $u_c(t)$ دالة دورية ؟

2.1 - نسمي شبه الدور T المدة الزمنية الفاصلة بين قيمتين قصويين متتاليتين للتوتر $u_c(t)$. عين مبيانيا T.

2 ما تأثير المقاومة R على :

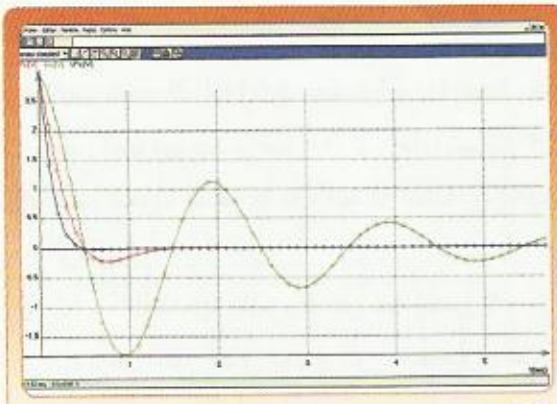
1.2 - وسع الذبذبات ؟

2.2 - شبه الدور T ؟

3 عندما تأخذ المقاومة r' قيمة كبيرة جدا.
هل التوتر $u_c(t)$ المعاين تذبذبي ؟

4 حسب قيم المقاومة الكلية R للدارة RLC، يلاحظ تجريبيا وجود نظامين للذبذبات : نظام شبه دوري ونظام لا دوري.
تعرف على هاذين النظامين من خلال الشكل 2.

5 نضبط من جديد r' على القيمة صفر.
في مرحلة أولى : نأخذ L =11mH و C =1μF ونقيس شبه الدور T.
في مرحلة ثانية : نأخذ L =11mH و C =0,22μF ونقيس T.
هل يتعلق شبه الدور بكل من L و C ؟



2 منحنيات التوتر $u_c(t)$ بالنسبة لقيم مختلفة لـ R

تفريغ	décharge	شبه دوري	pseudo -périodique	لا دوري	aperiodique

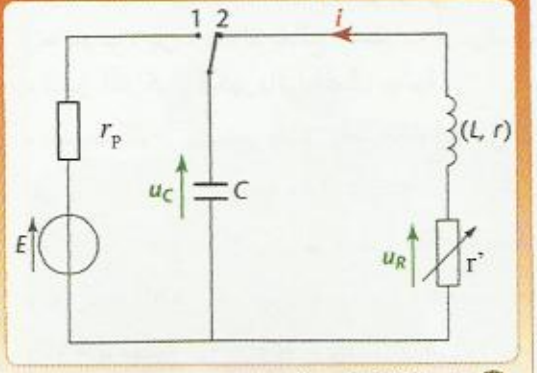
النشاط 2 الدراسة المبيانية لتغير الطاقات بدلالة الزمن — نشاط تجريبي

TP

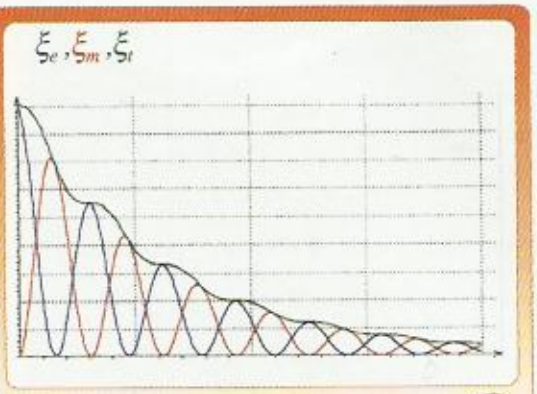
يعتبر المكثف والوشيعة خزانين للطاقة. كيف يتم تبادل الطاقة بين المكثف والوشيعة خلال الذبذبات الحرة والمخمدة لدارة RLC متوالية ؟

العدة التجريبية : نفس عدة النشاط السابق.

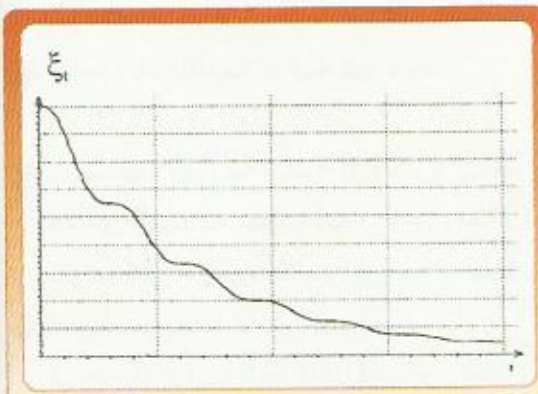
- ننجز التركيب التجريبي جانبه.
- نربط الوسيط المعلوماتي بكيفية تمكن من تسجيل تغيرات التوترين $u_C(t)$ بين مربطي المكثف و $u_R(t)$ بين مربطي الموصل الأومي.
- نضبط مقاومة الموصل الأومي على القيمة $r' = 0\Omega$. نشحن المكثف، ثم نسجل تغير التوترين $u_C(t)$ و $u_R(t)$ خلال تفريغه في الوشيعة.
- ننقل نتائج القياسات في برنم يعالج المعطيات.
- من خلال قيم التوتر $u_R(t)$ ، نحدث :
  - المتغير $i(t)$ الموافق لشدة التيار الكهربائي $\left(i(t) = -\frac{u_R(t)}{r'}\right)$
  - المتغير ξ_m الموافق للطاقة المغنطيسية المخزونة في الوشيعة $\left(\xi_m = \frac{1}{2}.L.i^2(t)\right)$
- من خلال قيم التوتر $u_C(t)$ نحدث :
  - المتغير ξ_e الموافق للطاقة الكهربائية المخزونة في المكثف : $\left(\xi_e = \frac{1}{2}.C.u_C^2(t)\right)$
- نحدث المتغير ξ_t الموافق للطاقة الكلية المخزونة في الدارة RLC. $(\xi_t = \xi_e + \xi_m)$.
- نعاين على شاشة الحاسوب المنحنيات $\xi_e(t)$ و $\xi_m(t)$ و ξ_t.



3 تبيانة التركيب التجريبي



4 المنحنيات $\xi_e(t)$ و $\xi_m(t)$ و $\xi_t(t)$



5 منحنى الطاقة الكلية $\xi_t(t)$

استثمار :

1. كيف تتغير الطاقة $\xi_e(t)$ عند تزايد $\xi_m(t)$ ؟
   نفس السؤال عند تناقص $\xi_m(t)$. ماذا تستنتج ؟
2. كيف تتغير، بصفة عامة، الطاقة الكلية $\xi_t(t)$ المخزونة في الدارة بدلالة الزمن ؟
3. 1.3 ـ ما الظاهرة المسؤولة عن هذا التغير ؟
   2.2 ـ ما المقدار الذي يحول دون الحصول على ذبذبات غير مخمدة ؟

متغير	variable	مخزون	emmagasiné	طاقة كلية	énergie globale

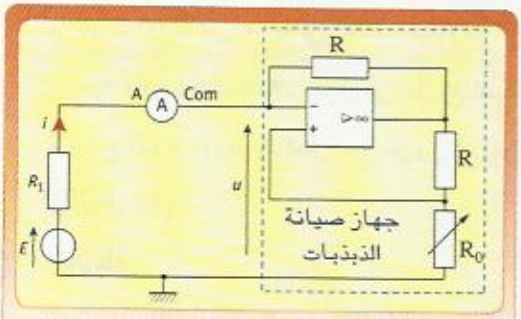
النشاط 3 — صيانة الذبذبات — نشاط تجريبي

بينت الأنشطة التجريبية السابقة أن وجود المقاومة في دارة RLC متوالية يتسبب في خمود الذبذبات الكهربائية. كيف يمكن صيانة هذه الذبذبات ؟

العدة التجريبية : مضخم عملياتي، مولد التوتر المستمر، تغذية مستمرة متماثلة (-15V,+15V)، موصلات أومية مقاوماتها $R=10k\Omega$ ، $R_1=8k\Omega$ ، R_0 قابلة للضبط ، موصل أومي مقاومته r' و مكثف سعته 10 µF، وشيعة معامل تحريضها الذاتي 1H، راسم التذبذب و أسلاك الربط.

المناولة 1: جهاز صيانة الذبذبات الكهربائية

- نغذي المضخم العملياتي بتغذية مستمرة متماثلة (-15V,+15V) .
- ننجز التركيب الكهربائي الممثل في (الشكل6).
- نضبط مولد التوتر المستمر على قيمة معينة E.
- نقيس التوتر u بواسطة راسم التذبذب، ونقيس بواسطة الأمبير متر شدة التيار i المار في الدارة.



6 تبيانة التركيب التجريبي لجهاز صيانة الذبذبات

استثمار :

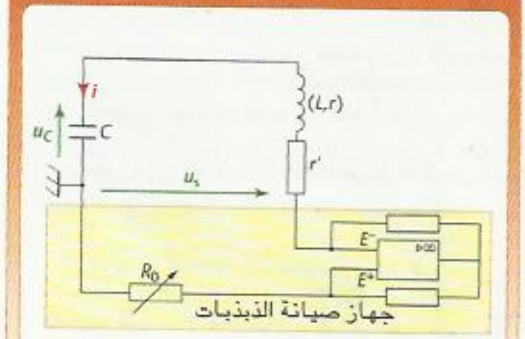
1. ما إشارة التوتر u ؟
2. احسب النسبة $\frac{u}{i}$، وقارنها مع قيمة المقاومة R_0.
3. استنتج كيف يتصرف جهاز الصيانة.

المناولة2 : دراسة المتذبذب الكهربائي المصون

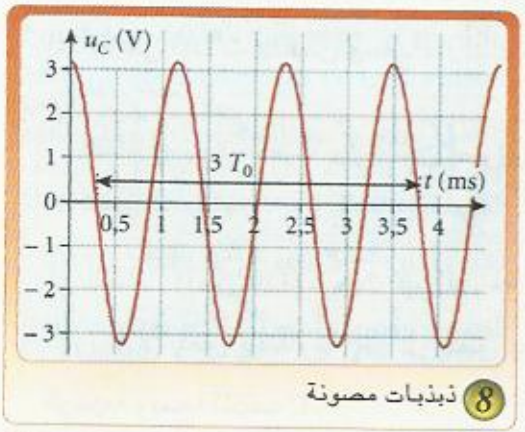
- نغذي جهاز الصيانة، ثم ننجز التركيب التجريبي الممثل في الشكل7.
- نربط راسم التذبذب لمعاينة التوتر $u_C(t)$ بين مربطي المكثف.
- يتصرف جهاز الصيانة كمولد يزود الدارة بتوتر u_s يتناسب اطرادا مع شدة التيار $i(t)$ المار فيها $u_s=R_0.i(t)$.

نختار $R_0=0\Omega$ ثم نرفع تدريجيا قيمة R_0 حتى نحصل على ذبذبات جيبية مصونة .

- نقيس الدور T لهذه الذبذبات.



7 تبيانة التركيب التجريبي



8 ذبذبات مصونة

استثمار :

1. ما الدور الذي يلعبه جهاز صيانة الذبذبات من الناحية الطاقية ؟
2. تبين الدراسة النظرية أن دور الذبذبات غير المخمدة هو : $T_0=2\pi\sqrt{LC}$.
أحسب T_0 وقارنه مع T. ماذا تستنتج ؟

مضخم عملياتي	amplificateur opérationnel	صيانة	entretien	ذبذبة	oscillation

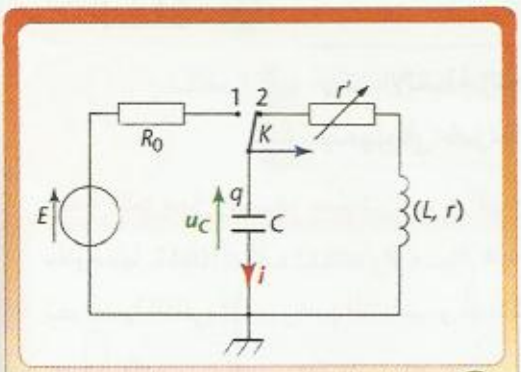
1 تفريغ مكثف في وشيعة

1.1 - تقديم التركيب التجريبي المدروس

في النشاط 1 (ص129) شحن المكثف بعد وضع قاطع التيار k في الموضع 1.
وعند وضع k في الموضع 2، نحصل على **دارة RLC متوالية** مكونة من مكثف ووشيعة وموصل أومي. المقاومة الكلية للدارة هي : $R = r + r'$
(الشكل 9). كيف يفرغ المكثف في الوشيعة ؟

إذا كانت المقاومة R صغيرة يلاحظ أن :

- التوتر $u_c(t)$ بين مربطي المكثف **متناوب** أي أنه يتأرجح بين قيم قصوى موجبة وقيم دنيا سالبة، نقول إن **تفريغ المكثف تذبذبي**.
- وسع التوتر $u_c(t)$ يتناقص مع مرور الزمن نقول إن **الذبذبات مخمدة**. (الشكل 10).

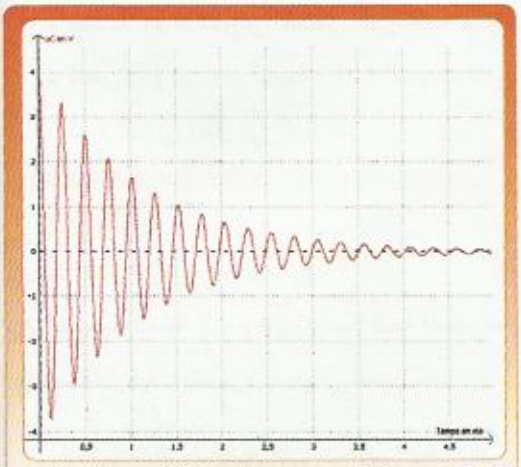


9 تبيانة تركيب تجريبي لدراسة دارة RLC متوالية. $R = r+r'$

ملحوظة :

تتعت هذه الذبذبات **بالحرة**، نظرا لعدم توفر الدارة RLC المتوالية على أي مصدر آخر للطاقة ما عدا الطاقة المخزونة في المكثف.

يؤدي تفريغ مكثف، مشحون، في وشيعة دارة RLC متوالية، إلى ظهور **ذبذبات حرة ومخمدة** .
نقول إن الدارة RLC المتوالية تكون متذبذبا كهربائيا حرا ومخمدا.


10 تغيرات $u_c(t)$ بين مربطي المكثف، خلال تفريغه

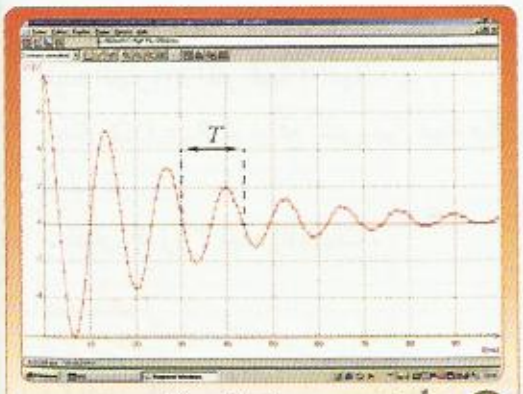
2.1 - أنظمة الذبذبات الحرة

حسب قيم مقاومة الدارة R نحصل على ثلاثة أنظمة للذبذبات :

أ - نظام شبه دوري

وهو نظام يحدث إذا كانت قيمة المقاومة R صغيرة، حيث نحصل في هذه الحالة على ذبذبات يتناقص وسعها تدريجيا مع الزمن (الشكل 11).

المدة الزمنية T الفاصلة بين قيمتين قصويين متتاليتين للتوتر $u_c(t)$، تسمى شبه الدور.



11 نظام شبه دوري - شبه الدور T

في النشاط 1(ص 129)، حيث قيم المقاومة Rصغيرة ، يلاحظ أن شبه الدور T لا يتعلق بالمقاومة R. بل يتعلق بمعامل التحريض الذاتي L للوشيعة وبسعة المكثف C.

نظام	régime	حر	libre	متناوب	alternatif

ب - نظام لا دوري

عندما تكون R كبيرة جدا، تزول الذبذبات، نظرا لوجود خمود مهم(الشكل 12)، ويسمى هذا النظام نظام لا دوري.

ج - نظام حرج

في الذبذبات الحرة توجد قيمة معينة للمقاومة نرمز لها بـ R_c وتسمى **مقاومة حرجة**. وهي مقاومة تفصل بين النظام شبه الدوري والنظام اللادوري.

ويسمى النظام في هذه الحالة النظام الحرج، وفي هذا النظام يرجع التوتر $u_c(t)$ إلى الصفر بسرعة ودون تذبذب(الشكل 13).

وتجدر الإشارة إلى أن R_c تتعلق بقيمتي L و C.

حسب قيمة R مقاومة الدارة RLC، نميز الأنظمة الثلاثة : شبه الدوري والحرج واللادوري ، وبالنسبة للنظام شبه الدوري، لا يتعلق شبه الدور T بالمقاومة R.

3.1 - المعادلة التفاضلية لدارة RLC متوالية

نعتبر الدارة المتوالية الممثلة في الشكل 14.

حسب قانون إضافية التوترات نجد :

$$u_c + u_R + u_L = 0 \quad (1)$$

مع : $u_R = r' i$ و $i = C.\frac{du_c(t)}{dt}$ و $u_L = ri + L\frac{di}{dt}$.

أي : $u_L = rC\frac{du_c}{dt} + LC\frac{d^2u_c}{dt^2}$ فنجد :

نعوض في العلاقة (1) :

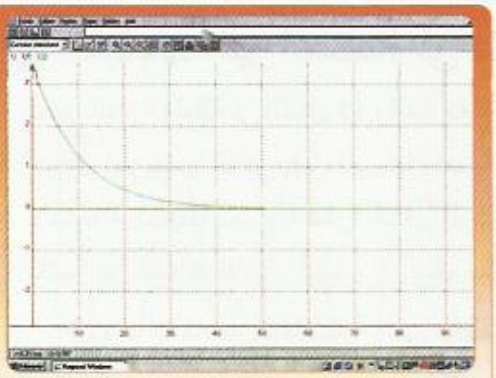
$$u_c + r'C\frac{du_c}{dt} + rC\frac{du_c}{dt} + LC\frac{d^2u_c}{dt^2} = 0$$

$$LC.\frac{d^2u_c}{dt^2} + (r + r')C.\frac{du_c}{dt} + u_c = 0$$

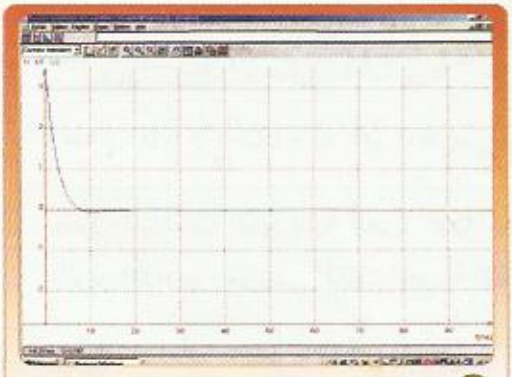
أي : $\frac{d^2u_c}{dt^2} + \frac{R}{L}.\frac{du_c}{dt} + \frac{1}{LC}u_c = 0$ ، حيث : $R = r + r'$.

المعادلة التفاضلية لدارة RLC متوالية التي يحققها التوتر $u_c(t)$ بين مربطي المكثف هي : $\boxed{\frac{d^2u_c}{dt^2} + \frac{R}{L}.\frac{du_c}{dt} + \frac{1}{LC}u_c = 0}$.

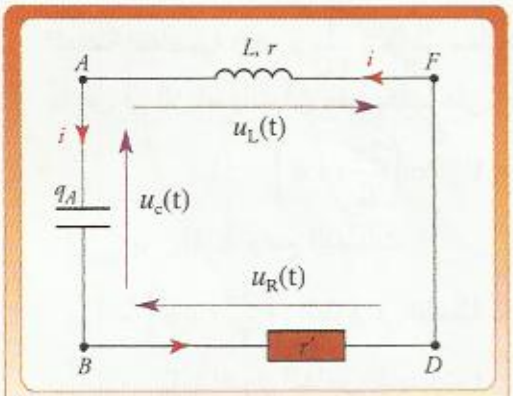
يعبر المقدار $\frac{R}{L}.\frac{du_c}{dt}$ عن ظاهرة خمود الذبذبات، ويحدد حسب قيم R نظام هذه الذبذبات.



12 نظام لا دوري



13 نظام حرج



14 تبيانة دارة RLC متوالية

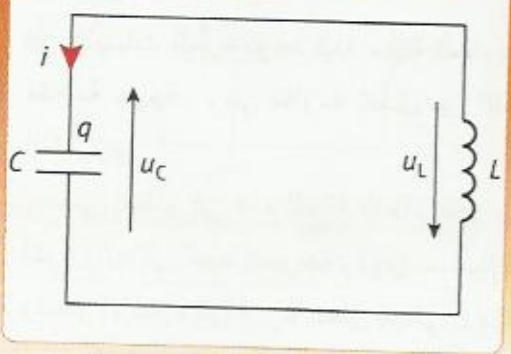
بتعويض u_c بـ $\frac{q}{C}$ في المعادلة التفاضلية، نحصل على المعادلة التفاضلية التي تحققها الشحنة q :

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L}.\frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC}.q = 0$$

لا دوري	apériodique	حرج	critique	خمود	amortissement

2 الذبذبات غير المخمدة في دارة مثالية LC

نعتبر الدارة الممثلة في الشكل 15 والمكوّنة من مكثف سعته C، ووشيعة معامل تحريضها الذاتي L ومقاومتها منعدمة. تنعت هذه الدارة بالمثالية لاستحالة تحقيقها تجريبيا نظرا لتوفر الوشيعات على مقاومة داخلية ناتجة عن أسلاك لفاتها، أضف إلى ذلك مقاومة أسلاك الربط.



15 دارة مثالية LC

1.2 ـ المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر $u_c(t)$

حسب قانون إضافية التوترات نجد :

$u_c + u_L = 0$ (الشكل 15).

لدينا $i = C\frac{du_c}{dt}$ و $u_L = L\frac{di}{dt} = LC\frac{d^2u_c}{dt^2}$.

ومنه : $u_c + LC\frac{d^2u_c}{dt^2} = 0$ أي $\frac{d^2u_c}{dt^2} + \frac{1}{LC}u_c = 0$.

خلال الذبذبات الكهربائية الحرة غير المخمدة لدارة LC، يحقق التوتر $u_c(t)$ بين مربطي المكثف المعادلة التفاضلية التالية :

$$\frac{d^2u_c}{dt^2} + \frac{1}{LC}u_c = 0$$

بتعويض u_c بـ $\frac{q}{C}$ نجد المعادلة التفاضلية، التي تحققها الشحنة الكهربائية q :

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}.q = 0$$.

2.2 ـ حل المعادلة التفاضلية

المعادلة التفاضلية $\frac{d^2u_c}{dt^2} + \frac{1}{LC}u_c = 0$ معادلة خطية من الرتبة الثانية، يُبرهن في الرياضيات أن حلها يكتب على شكل :

$u_c(t) = U_m.\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$ ، حيث :

- U_m : وسع الذبذبات ؛
- $\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$: الطور في اللحظة ذات التاريخ t ؛
- T_0 : الدور الخاص للذبذبات ؛
- φ : الطور عند أصل التواريخ $(t = 0)$.

أ ـ تحديد تعبير الدور الخاص

لدينا : $u_c(t) = U_m.\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$.

نشتق مرتين متتاليين $u_c(t)$ بدلالة الزمن فنجد :

$\frac{du_c}{dt} = -U_m.\frac{2\pi}{T_0}\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$ ، أي :

$\frac{d^2u_c}{dt^2} = -U_m.\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}.t + \varphi\right) = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 u_c(t)$.

non amorti	غير مخمد	période propre	دور خاص	idéal	مثالي

نعوض في المعادلة التفاضلية $\frac{d^2u_c}{dt^2}$ بتعبيرها فنجد :

$\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 = \frac{1}{LC}$ ، أي : $T_0 = 2\pi\sqrt{L.C}$.

يتعلق الدور الخاص للذبذبات الحرة غير المخمدة بمعامل التحريض الذاتي L وبسعة المكثف C : $\boxed{T_0 = 2\pi\sqrt{L.C}}$.

ملحوظات :

- وحدة الدور الخاص T_0 في النظام العالمي للوحدات هي الثانية (s).

لنبين ذلك من خلال معادلة الأبعاد :

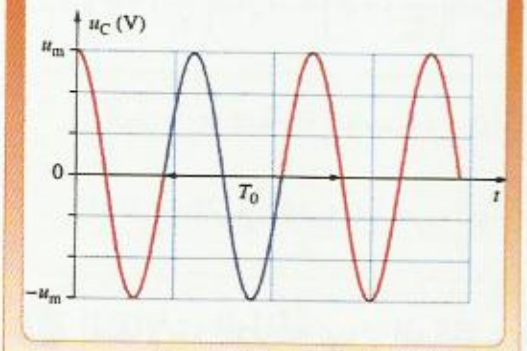
$T_0 = 2\pi\sqrt{L.C}$ ، مع : $C = \frac{i}{\frac{du}{dt}}$ و $L = \frac{u_c}{\frac{di}{dt}}$.

$[T_0] = ([L].[C])^{1/2}$ ، مع : $[C] = \frac{[i]}{[u]}.[t]$ و $[L] = \frac{[u]}{[i]}.[t]$.

إذن : $[T_0] = \left(\frac{[u]}{[i]}.[t].\frac{[i]}{[u]}.[t]\right)^{1/2} = [t]$.

- في النظام شبه الدوري يقارب شبه الدور T الدور الخاص T_0.

$T \approx T_0 = 2\pi\sqrt{L.C}$



16 تكون ذبذبات دارة LC جيبية .
الدور الخاص T_0 ممثل باللون الأزرق

ب - تحديد U_m و φ

لتحديد قيم كل من U_m و φ ، نعبر عن المقدارين $u_c(t)$ و $i(t) = C\frac{du_c}{dt}$ في اللحظة $t = 0$ نسمي $(u_c(0)$ و $i(0))$ **الشروط البدئية** وهي ناتجة عن كون $u_c(t)$ دالة متصلة، والتيار المار في الوشيعة $i(t)$ دالة متصلة كذلك .

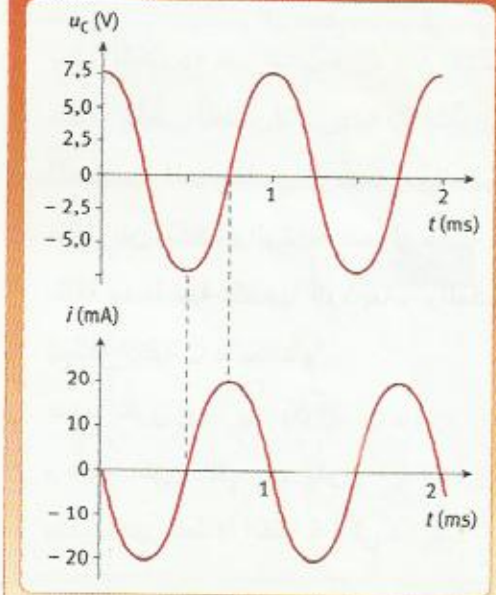
لدينا $i(t) = C\frac{du_c}{dt}$ أي : $i(t) = -\frac{2\pi}{T_0}.C.\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$.

$i(0) = -\frac{2\pi}{T_0}.C.\sin(\varphi) = 0$ ، أي $\sin\varphi = 0$ ومنه : $\varphi = 0$ أو $\varphi = \pi$.

في البداية المكثف مشحون . $u_c(0) = E = 3V$ (النشاط 1 ، ص 137).

عند $t = 0$ ، $u_c(0) = U_m.\cos\varphi = E$ وبما أن $U_m > 0$ فإننا نختار $\varphi = 0$ ،

ومنه فإن : $u_c(t) = E.\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}.t\right)$.



17 $u_c(t)$ و $i(t)$ دالتان جيبيتان، وهما على تربيع في الطور: أي عندما تكون إحداهما منعدمة تكون الأخرى قصوى أو دنيا

ج - تعبير الشحنة q و شدة التيار $i(t)$

- شحنة المكثف q(t) :

$q(t) = Cu_c(t) = C.U_m.\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}.t + \varphi\right) = q_m.\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}.t + \varphi\right)$

مع : $q_m = C.U_m$.

طور	phase	وسع	amplitude	شروط بدئية	conditions initiales

- شدة التيار الكهربائي $i(t)$:

$$i(t)=-\frac{2\pi}{T_0}C\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)=-I_m\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$$ مع : $I_m=+\frac{2\pi}{T_0}.C$.

إن الحل $u_c(t)$ للمعادلة التفاضلية : $\frac{d^2u_c}{dt^2}+\frac{1}{LC}u=0$ دالة جيبية تكتب على شكل : $u_c(t)=U_m.\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$.

شدة التيار المار في الدارة LC هي : $i(t)=-\frac{2\pi}{T_0}C\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$.

3 انتقالات الطاقة بين المكثف والوشيعة

رأينا أنه يمكن تخزين طاقة كهربائية $\xi_e=\frac{1}{2}Cu_c^2$ في المكثف، وطاقة مغنطيسية $\xi_m=\frac{1}{2}Li^2$ في الوشيعة .

ما هي انتقالات الطاقة التي تتم بين المكثف والوشيعة ؟

1.3 - الطاقة في الدارة LC المثالية

الطاقة الكلية المخزونة في الدارة LC هي في كل لحظة مجموع الطاقة الكهربائية في المكثف ξ_e والطاقة المخزونة في الوشيعة ξ_m .

$$\xi_t=\xi_e+\xi_m=\frac{1}{2}Cu_c^2+\frac{1}{2}Li^2$$

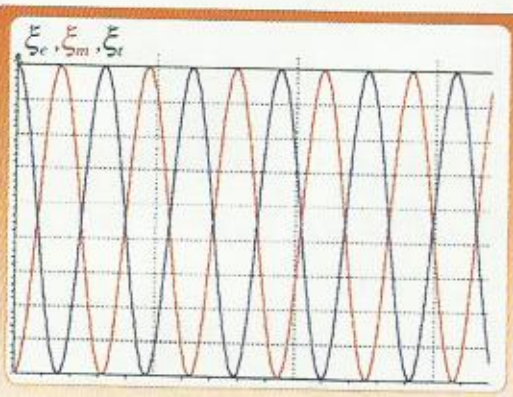
يمثل الشكل 18 تغيرات ξ_e و ξ_m و ξ_t بدلالة الزمن .

عندما تنقص الطاقة الكهربائية ξ_e المخزونة في المكثف، تزداد الطاقة المغنطيسية المخزونة في الوشيعة، والعكس بالعكس. إذن هناك تبادل طاقي بين المكثف والوشيعة تتحول خلاله الطاقة الكهربائية للمكثف إلى طاقة مغنطيسية تكتسبها الوشيعة، والعكس، الشيء الذي يفسر ثبات الطاقة الكلية ξ_t وانحفاظها .

عندما تكون $u_C=E$ يكون $i=0$.

وعندما تكون $u_c=0$ يكون $i=i_m$.

يكتب تعبير الطاقة الكلية كالتالي : $\xi_t=\frac{1}{2}.C.U_m^2=\frac{1}{2}.Li_m^2$.



18 تغير الطاقات ξ_e و ξ_m و ξ_t بدلالة الزمن في دارة متذبذبة LC ($\xi_t=cte$)

يمكن أن نثبت رياضيا أن الطاقة الكلية ثابتة ξ_t :

- قانون إضافية التوترات : $u_c+u_L=0$

أي $\frac{q}{C}+L\frac{di}{dt}=0$ ، نضرب في $i=\frac{dq}{dt}$.

فنجد : $\frac{q}{C}.\frac{dq}{dt}+Li\frac{di}{dt}=0$.

أي : $\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}\frac{q^2}{C}+\frac{1}{2}Li^2\right)=0$.

وبالتالي : $\xi_t=\frac{1}{2}\frac{q^2}{C}+\frac{1}{2}Li^2=cte$.

- تكون الطاقة الكلية لدارة مثالية LC ثابتة وتساوي الطاقة البدئية المخزونة في المكثف.
- خلال الذبذبات غير المخمدة تتحول الطاقة الكهربائية في المكثف إلى طاقة مغنطيسية في الوشيعة والعكس.

$$\xi_t=\frac{1}{2}.Cu_c^2+\frac{1}{2}.Li^2=\frac{1}{2}.CU_m^2=\frac{1}{2}Li_m^2$$.

variation	تغير	idéal	مثالي	stockage	تخزين	transfert	انتقال

2.3 - الطاقة في الدارة RLC المتوالية

لاحظنا في النشاط 2 (ص 138) أنه خلال كل تبادل طاقي بين المكثف والوشيعة تتناقص الطاقة الكلية نتيجة وجود المقاومة R، والتي تحول الطاقة الكلية المتناقصة إلى طاقة حرارية بمفعول جول.

ويبرهن عن هذه النتيجة نظريا كالتالي :

تعبير الطاقة الكلية ξ_t للدارة RLC في لحظة t هو : $\xi_t = \frac{1}{2}Li^2 + \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$

لنعبر عن تغير الطاقة الكلية dE خلال المدة dt :

$$\frac{d\xi_t}{dt} = Li\frac{di}{dt} + \frac{q}{C}\cdot\frac{dq}{dt} = i\left(L\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{C}\right).$$

وباعتبار أن المعادلة التفاضلية التي تحققها q هي : $L\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{C} = -R\frac{dq}{dt}$.

نكتب : $d\xi_t = -Ri^2dt$ وبالتالي : $\frac{d\xi_t}{dt} = -Ri^2$.

وهكذا يتضح من هذه العلاقة أن :

- الطاقة ξ_t تناقصية لأن : $\left(\frac{d\xi_t}{dt} < 0\right)$.
- التناقص الطاقي يعزى لوجود المقاومة R.

تتناقص الطاقة الكلية لدارة RLC متوالية تدريجيا بسبب مفعول جول.

4 صيانة الذبذبات

يمكن صيانة ذبذبات دارةRLC متوالية والحصول على توتر متذبذب ذي وسع ثابت، باستعمال جهاز يزود الدارة بطاقة تعوض الطاقة المبددة في الدارة بمفعول جول.

جهاز الصيانة عبارة عن مولد يزود الدارة بتوتر u_s يتناسب اطرادا مع شدة التيار $i(t)$. $(u_s = R_0.i)$ وهو يتصرف كمقاومة سالبة.

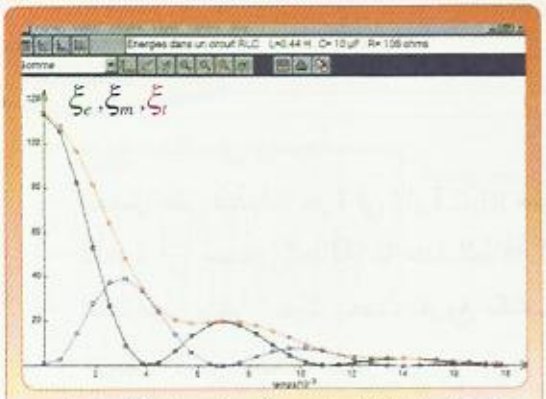
المعادلة التفاضلية للدارة RLC الممثلة في الشكل 21 هي :

$$LC\frac{d^2u_c}{dt_2} + (R - R_0)C\frac{du_c}{dt} + u_c = 0.$$

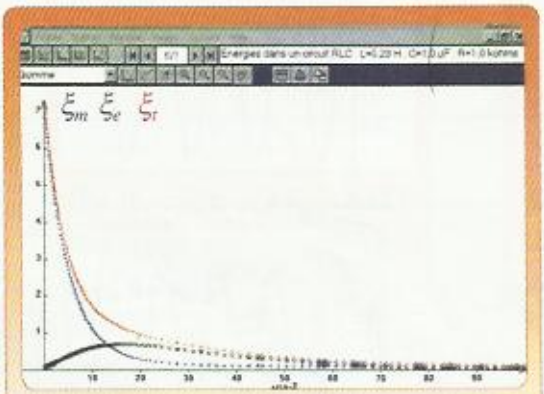
عند ضبط المقاومة R_0 على قيمة تقارب R نجد :

$LC\frac{d^2u_c}{dt_2} + u_c = 0$ وهي المعادلة التفاضلية لدارة LC مثالية أي أن الذبذبات في هذه الحالة جيبية دورها : $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$.

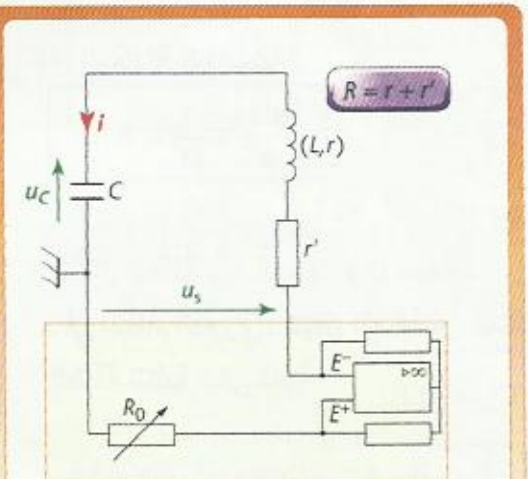
مثال : النشاط 3 (ص 139) نحصل بين مربطي المكثف على توتر متناوب جيبي، يتعلق دوره T_0 بقيمة كل من معامل التحريض الذاتي L وسعة المكثف C.



19 تغير الطاقات ξ_e و ξ_m و ξ_t بدلالة الزمن في دارة RLC متوالية في نظام شبه دوري



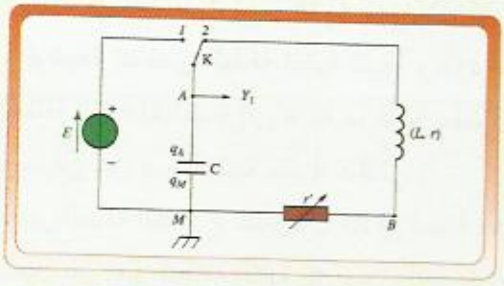
20 تغير الطاقات ξ_e و ξ_m و ξ_t بدلالة الزمن في دارة RLC متوالية في نظام لادوري



21 تركيب يمكن من صيانة الذبذبات في دارة RLC متوالية.

progressif	تدريجي	oscillateur	متذبذب	effet Joule	مفعول جول	entretien	صيانة

الحصيلة

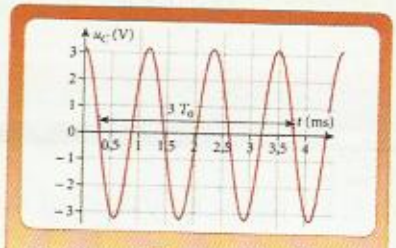


تفريغ مكثف في وشيعة :

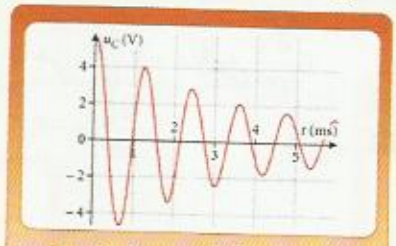
نحصل على ذبذبات حرة في دارة RLC متوالية، عندما لا يتوفر للدارة أي مصدر للطاقة ما عدا الطاقة المخزونة في المكثف المشحون بدئيا، حيث يحدث تفريغ مكثف في وشيعة.

الأنظمة الحرة الثلاثة للدارة :

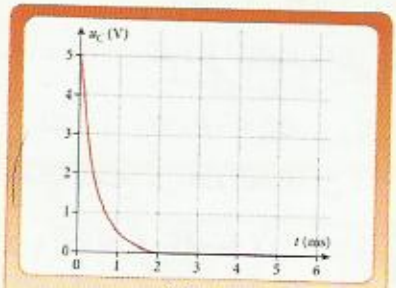
حسب قيمة المقاومة R للدارة RLC نميز الأنظمة الثلاثة التالية :



$R = 0$، ذبذبات حرة غير مخمدة :
نظام دوري
الدور الخاص T_0



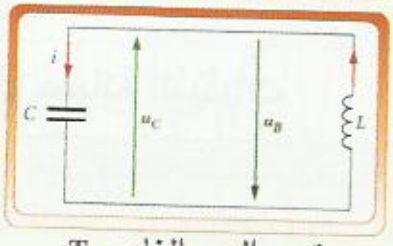
R صغيرة ، ذبذبات حرة مخمدة
نظام شبه دوري
شبه الدور T : $T \simeq T_0$



R كبيرة، تزول الذبذبات
نظام لا دوري

الذبذبات الحرة في دارة مثالية (LC):

بالنسبة لمقاومة $R = 0$ ، يكون المتذبذب الحر في النظام الدوري.
تؤدي الدراسة التحليلية للدارة LC المثالية إلى النتائج التالية :



المعادلة التفاضلية

$$\frac{d^2u_c}{dt^2} + \frac{1}{LC}u_c = 0$$

تعبير التوتر $u_c(t)$

$$u_c(t) = U_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$$

تحدد U_m و φ باستعمال الشروط البدئية

تعبير الدور الخاص T_0

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

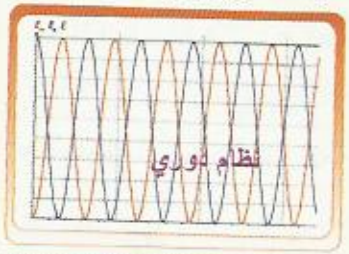
T_0 تتعلق بقيمتي L و C

انتقال الطاقة بين المكثف والوشيعة :

- في النظام الدوري، تنتقل الطاقة من المكثف إلى الوشيعة والعكس، دون خمود.

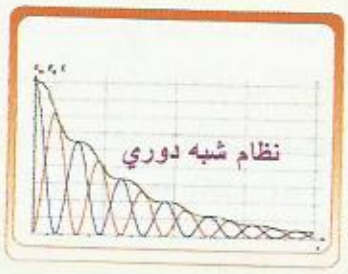
الطاقة الكلية تبقى ثابتة :

$$\xi_t = \xi_e + \xi_m = \frac{1}{2}Cu_c^2 + \frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2}CU_m^2 = \frac{1}{2}LI_m^2$$



- في النظامين شبه الدوري أو اللادوري تتناقص الطاقة الكلية خلال انتقالها بين المكثف والوشيعة أو العكس. ويعزى ذلك إلى وجود المقاومة R التي تبدد الطاقة بمفعول جول:

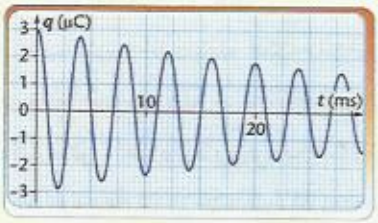
$$\frac{d\xi_t}{dt} = -Ri^2$$



صيانة الذبذبات :

لصيانة الذبذبات يجب تزويد الدارة RLC بطاقة كهربائية تعوّض الطاقة المبددة بمفعول جول في المقاومة R. نستعمل لهذا الغرض ثنائي قطب يتصرف كمقاومة سالبة.

تمرين محلـول



- يتكون متذبذب حر من مكثف مشحون سعته $C = 1{,}0\mu F$ ووشيعة معامل تحريضها الذاتي $L = 0{,}40\ H$ ومقاومتها مهملة وموصل أومي مقاومته R.
- يمثل الشكل جانبه تغيرات الشحنة q التي يحملها أحد لبوسي المكثف.

1- حدد مبيانيا شبه الدور T للذبذبات.

2 - أوجد المعادلة التفاضلية التي تحققها الشحنة q(t) في الحالة التي تكون فيها المقاومة R مهملة.

3 - تحقق من أن : $q(t) = Q_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$ ، حيث $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ تشكل حلا للمعادلة التفاضلية.

4 - أحسب الدور الخاص T_0 وقارنه مع شبه الدور T.

5 - ما الفرق بين حل المعادلة التفاضلية والمنحنى الممثل في الشكل أعلاه؟

6 - إلى ما يعزى هذا الفرق ؟

إرشادات

1 - لقياس T بدقة يستحسن قياس عدد من الدورات.

2 - تمثيل الدارة وتوجيهها.
- استحضار قانون إضافية التوترات.
- استذكار العلاقة بين الشحنة والتوتر والعلاقة بين شدة التيار والشحنة وكتابة التوتر بين مربطي وشيعة.

3 - استعمال الرياضيات :

$[\cos(ax)]' = -a\sin(ax)$

في الفيزياء :

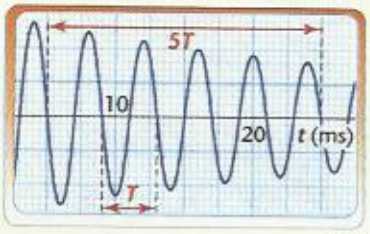
$\frac{d}{dt}[\cos(at)] = -a\sin(at)$.

4 - احترام عدد الأرقام المعبرة.

5 - معرفة شكل منحنى غير مخمد.

6 - معرفة تأثير المقاومة في الخمود.

حـل

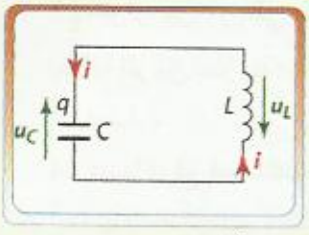


1 - نقيس المدة الزمنية الفاصلة بين $t_2 = 25{,}0ms$ و $t_1 = 5{,}0ms$ ونكتب :

$t_2 - t_1 = 5T$

ومنه $T = \frac{t_2 - t_1}{5} = 4{,}00ms$

2 - في حالة $R = 0$. نمثل التركيب (LC) جانبه :



حسب قانون إضافية التوترات : $u_L(t) + u_C(t) = 0 \quad (1)$

حسب التوجيه المبين في الشكل نكتب : $q(t) = Cu_c(t)$

و $u_L(t) = L\frac{di}{dt}$ و $i(t) = \frac{dq}{dt}$ نعوض في العلاقة (1)

فنحصل على المعادلة : $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$.

3 - نحسب : $\frac{dq}{dt} = -\frac{2\pi}{T}Q_m \sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$ و $\frac{d^2q}{dt^2} = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 Q_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$.

ومنه : $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 Q_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right) + \frac{1}{LC}Q_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$.

وباعتبار $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ فإن : $-\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 + \frac{1}{LC} = 0$.

ومنه $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$ إذن $q(t) = Q_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$ حلا للمعادلة التفاضلية .

4 - حساب T_0 : $T_0 = 2\pi\sqrt{LC} = 3{,}97.10^{-3}\ s$ ومنه : $T = T_0$.

5 - حل المعادلة دالة دورية أما المنحنى الممثل في الشكل فهوغير دوري لأن الوسع يتناقص مع الزمن(الذبذبات مخمدة).

6 - خمود الذبذبات ناتج عن تبدد الطاقة بمفعول جول بسبب المقاومة R للدارة.

تمارين لاختبار المعارف

1 أجب بصحيح أو خطأ :

1 - تكون الذبذبات الكهربائية في الدارة RLC المتوالية دائما شبه دورية.

2 - في النظام الدوري يحدث انتقال الطاقة بين المكثف والوشيعة دون تبدد للطاقة بمفعول جول.

3 - صيانة الذبذبات الكهربائية في الدارة RLC المتوالية تتحقق بتعويض الطاقة المبددة في الدارة بطاقة كهربائية يمنحها ثنائي قطب يسمى " مقاومة سالبة".

4 - تكون الدارة RLC المتوالية في نظام لا دوري، عندما تكون المقاومة R صغيرة جدا.

2 إختر الجواب الصحيح :

1 - في اللحظة $t = 0$ تكون الطاقة الكهربائية للدارة RLC المتوالية مخزونة في :

أ - الوشيعة ، ب - المكثف ، ج - الموصل الأومي.

2 - تعبير الدور الخاص T_0 للذبذبات هو :

أ - $T_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{LC}}$ ، ب - $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ ، ج - $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{C}}$

3 - التوتر بين مربطي مكثف في دارة مثالية (LC) يتغير بدلالة الزمن بطريقة:

أ - خطية ، ب - جيبية ، ج - أسية.

4 - عندما نرفع قيمة المقاومة R لدارة RLC متوالية يزداد :

أ - دور الذبذبات ، ب - وسع الذبذبات، ج - الطاقة المبددة بمفعول جول.

تمارين تطبيقية

3 نعتبر دارة كهربائية معادلتها التفاضلية : $\frac{d^2u_c}{dt^2} + 10^4 u_c = 0$.

أحسب معامل تحريضها الذاتي علما أن سعة المكثف هي :

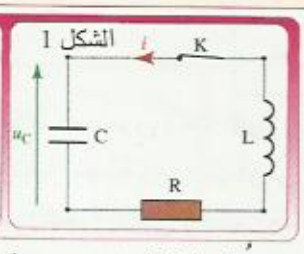
$C = 100\ \mu F$.

إجابة : $L = 1H$

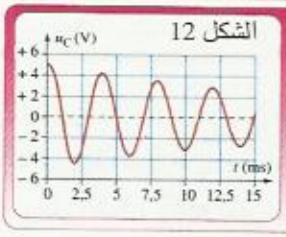
4 نركب مكثفا مشحونا بين مربطي ثنائي قطب RL (الشكل1).

يمثل الشكل 2 تغيرات التوتر $u_c(t)$ بين مربطي المكثف.

الشكل 1



الشكل 12



1 - أنقل الشكل 1 وبين عليه كيفية ربط كاشف التذبذب لمعاينة التوتر $u_C(t)$.

2 - ما هو نظام الذبذبات ؟

3 - حدد شبه الدور T .

4 - علما أن سعة المكثف المستعمل هي $C = 1\mu F$ حدد معامل التحريض الذاتي للوشيعة . نعتبر أن شبه الدور T يساوي الدور الخاص.

أجوبة : 3 - $T \approx 4ms$ ، 4 - $L = 0,4H$.

5 نعتبر الدارة المتكونة من مكثف سعته C ووشيعة معامل تحريضها الذاتي L وقاطع التيار K. المقاومة الكلية للدارة منعدمة. نشحن المكثف بحيث يحمل أحد لبوسيه كمية الكهرباء Q_0 ثم نغلق قاطع التيار k .

1 - أرسم تبيانة التركيب التجريبي.

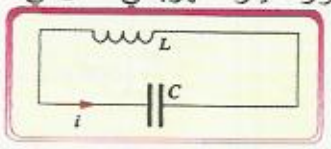
2 - حدد تعبير $i(t)$ علما أن $q(t) = Q_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$.

3 - عبر عن الطاقة الكلية للدارة في لحظة t بطريقتين.

أجوبة : 2 - $i(t) = -\frac{2\pi}{T} Q_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$

3 - $\xi_t = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2}\frac{Q_0^2}{C}$

6 نعتبر مكثفا سعته $C = 47,0nF$ مشحونا مسبقا تحت توتر مستمر $U_0 = 6,0V$ نصل مربطي هذا المكثف بوشيعة معامل تحريضها الذاتي $L = 65mH$ ومقاومتها مهملة، المنحى الموجب لمرور التيار الكهربائي ممثل في الشكل أسفله.



1 - انقل التبيانة ومثل عليها التوتر $u_C(t)$ بين مربطي المكثف و التوتر $u_L(t)$ بين مربطي الوشيعة في الاصطلاح مستقبل.

2 - أوجد المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر $u_C(t)$.

3 - حل هذه المعادلة التفاضلية هو : $u_c(t) = u_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$.

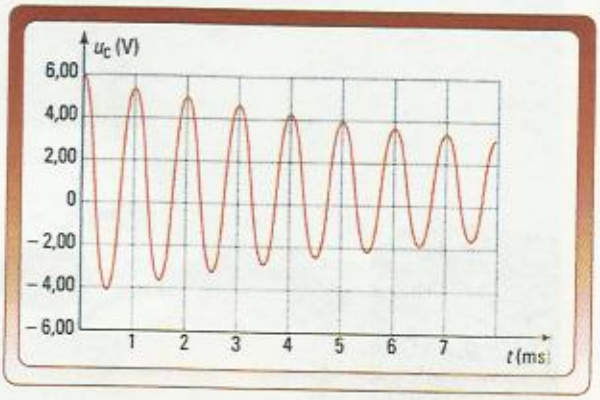
حدد قيمتي u_m و T_0.

أجوبة : 2 - $\frac{d^2u_c}{dt^2} + \frac{1}{LC}u_c = 0$.

3 - $u_m = 6,0V$ و $T_0 = 2\pi\sqrt{LC} = 0,34ms$.

تمارين توليفية

7 نشحن مكثفا سعته $C = 0,25\mu F$ بواسطة مولد قوته الكهرمحركة $E = 6,0V$ ، ونركبه عند اللحظة $t = 0$ بين مربطي وشيعة معامل تحريضها الذاتي L ومقاومتها r . نعاين بواسطة راسم التذبذب تغيرات التوتر $u_C(t)$ بين مربطي المكثف، فنحصل على الشكل أسفله :



1 - ما نظام الذبذبات الملاحظ ؟

2 - كيف تفسر خمود هذه الذبذبات ؟

3 - أوجد المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_c بين مربطي المكثف.

4 - عين مبيانيا شبه الدور T للذبذبات.

5 - نعتبر المقاومة r منعدمة.

1.5 - أكتب في هذه الحالة المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_C

2.5 - حل هذه المعادلة هو : $u_c(t) = U_m.\cos(\alpha t + \varphi)$

ما تعبير كل من U_m و φ و α ؟

3.5 - إستنتج تعبير كل من الشحنة q(t) للمكثف وشدة التيار $i(t)$ المار في الدارة.

4.5 - اعط تعبير الدور الخاص T_0 للذبذبات.

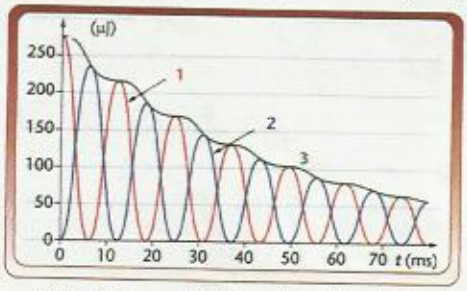
6 - أحسب قيمة معامل التحريض الذاتي L للوشيعة علما أن شبه الدور T يساوي الدور الخاص T_0.

7 - لصيانة الذبذبات ، نركب على التوالي في الدارة RLC مولدا يزود ها بتوتر $u_g = R_0 i$.

ما قيمة المقاومة R_0 التي تمكن من الحصول على ذبذبات جيبية ؟

8 الدراسة الطاقية :

ننجز دارة RLC بتركيب مكثف مشحون على التوالي مع وشيعة معامل تحريضها الذاتي L ومقاومتها مهملة وموصل أومي مقاومته R وقاطع التيار K . نغلق قاطع التيار عند $t = 0$. يمثل الشكل أسفله تغير كل من ξ_e الطاقة الكهربائية المخزونة في المكثف و ξ_m الطاقة المغنطيسية للوشيعة و الطاقة الكلية $\xi_t = \xi_e + \xi_m$.



1 - تعرف على المنحنيات الثلاث معللا إجابتك.

2 - ما قيمة كل من الطاقة المخزونة في المكثف والطاقة المخزونة في الوشيعة عند اللحظة $t = 0$ ؟

3 - اعتمادا على تعبير كل من ξ_e و ξ_m فسر لماذا يكون لهما دائما قيم موجبة.

4 - ما سبب نقصان الطاقة الكلية في الدارة؟

9 القدرة المبددة :

نعتبر مكثفا سعته C مشحونا تحت توتر E.

عند اللحظة $t = 0$ نربط المكثف بوشيعة معامل تحريضها الذاتي L ومقاومتها r.

1 - نعتبر مقاومة الوشيعة مهملة.

1.1 - أوجد المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_C بين مربطي المكثف.

2.1 - حل هذه المعادلة هو $u_c(t) = E\cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right)$.

أوجد تعبير الطاقة الكلية ξ_t وبين أنها ثابتة.

2 - في الحقيقة مقاومة الوشيعة r غير مهملة.

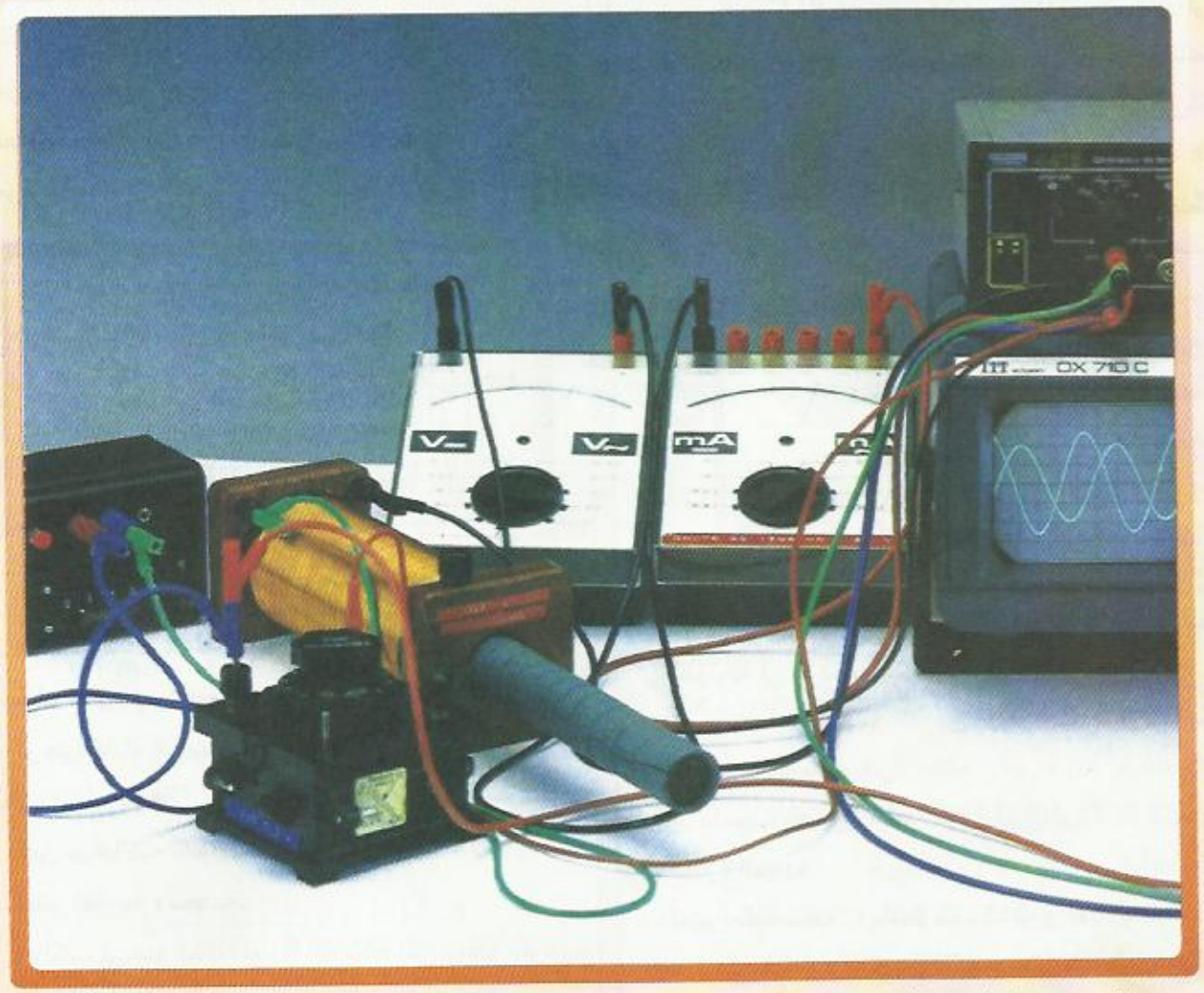
1.2 - أوجد في هذه الحالة المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر $u_C(t)$.

2.2 - باستعمال هذه المعادلة بين أن : $\frac{d\xi_t}{dt} = -ri^2$ حيث :

ξ_t الطاقة الكلية للدارة عند اللحظة t و i شدة التيار المار في الدارة عند اللحظة t . ماذا تستنتج ؟

10 الذبذبات القسرية في دارة RLC متوالية

Les oscillations forcées dans un circuit RLC série



تبين الصورة تركيبا تجريبيا يضم مولدا للتردد المنخفض ودارة RLC متوالية.

ماذا يحدث عندما يفرض المولد على الدارة نظاما متناوبا جيبيا ؟ وماهي التطبيقات العملية التي يستعمل فيها مثل هذا التركيب ؟

الأهداف

- التمييز بين الذبذبات الحرة والقسرية ؛
- تعرُّف ممانعة الدارة RLC المتوالية ؛
- إثبات المعادلة التفاضلية وحلها باستعمال إنشاء فرينيل ؛
- تعرُّف ظاهرة الرنين الكهربائي ؛
- تعرُّف معامل الجودة، والمقادير المؤثرة فيه ؛
- تعرُّف القدرة في النظام المتناوب الجيبي ؛
- تعرُّف معامل القدرة.

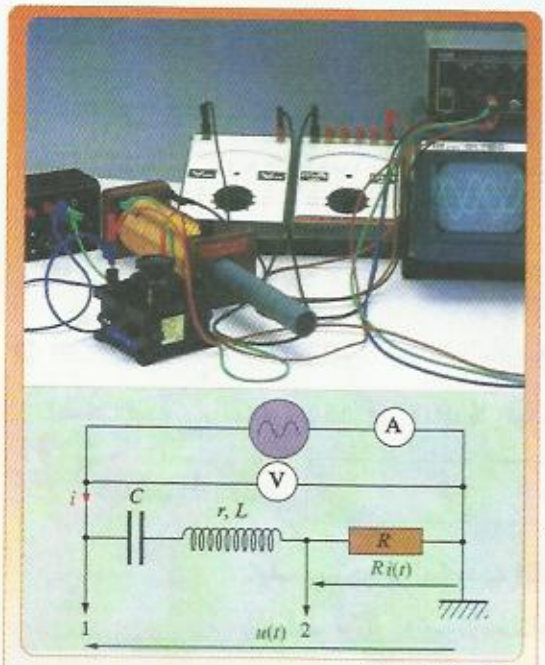
النشاط 1 — الدارة RLC في نظام جيبي وقسري

نشاط تجريبي

تكون الدارة RLC متذبذبا كهربائيا مخمدا. كيف تتصرف هذه الدارة عندما يُطبق بين مربطيها توتر متناوب جيبي ؟

العدة التجريبية : مولد التردد المنخفض GBF ، مكثف سعته $C = 0,5\mu F$ ، وشيعة $(L = 1,0H, r = 20\Omega)$ ، موصل أومي مقاومته $R = 30\Omega$ ، راسم التذبذب أووسيط معلوماتي وحاسوب ، جهازان متعددا القياس ، أسلاك الربط.

المناولة 1 : معاينة التوتر $u(t)$ بين مربطي الدارة RLC و $i(t)$ بدلالة الزمن



1 التركيب التجريبي

- ننجز التركيب الكهربائي جانبه، حيث نضبط مولد التردد المنخفض على توتر متناوب جيبي قيمته القصوى $U_m = 2V$ وعلى التردد 100 Hz .
- نعاين بواسطة راسم التذبذب التوتر $u_R(t)$ بين مربطي الموصل الأومي، والتوتر $u(t)$ بين مربطي الدارة RLC (الشكل 2).
- نقيس بواسطة أمبيرمتر الشدة الفعالة I للتيار المار في الدارة، ونقيس بواسطة فولطمتر التوتر الفعال U بين مربطي الدارة RLC .

استثمار :

1. فسر لماذا تمكن معاينة التوتر $u_R(t)$ من معاينة تغيرات شدة التيار اللحظية $i(t)$.
2. أحسب شدة التيار القصوى I_m ، ثم تحقق من العلاقة : $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$.
3. عيِّن القيمة القصوى U_m للتوتر $u(t)$ ، ثم تحقق أن : $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.
4. هل لمنحنيي الرسم التذبذبي :

أ ـ نفس الوسع ؟ نفس التردد ؟ نفس الطور ؟

ب ـ نقول إن الدارة RLC توجد في نظام جيبي وقسري ، فسر ذلك.

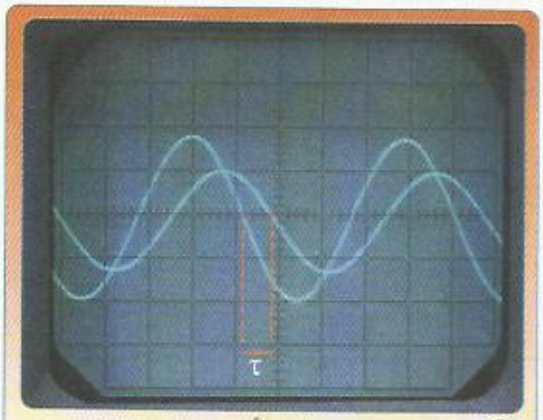
5. نرمز للفرق الزمني بين منحنيي التوتر $u(t)$ وشدة التيار $i(t)$ بالحرف τ .

1.5 ـ بين أن تعبير الطور φ للتوتر $u(t)$ بالنسبة لشدة التيار $i(t)$ يكتب كالتالي:

$$\varphi = 2\pi.\frac{\tau}{T}$$ ،

حيث T هو دور كل من المقدارين الجيبيين $u(t)$ و $i(t)$.

2.5 ـ تحقق تجريبيا من أن المقادير : معامل التحريض الذاتي L للوشيعة وسعة المكثف C ، والتردد f للمولد GBF تؤثر في الفرق الزمني τ .



2 الرسم التذبذبي المحصَّل . تمثل τ الفرق الزمني بين المنحنيين

قسري	forcé	طور	phase	جيبي	sinusoïdal

المناولة 2 : ممانعة الدارة RLC المتوالية

- نحتفظ بقيمة تردد GBF السابقة $N_1 = 100\ Hz$.

نغير التوتر الفعال U الذي يعطيه GBF ونقيس في كل مرة الشدة الفعالة I للتيار المار في الدارة.

- نضبط تردد GBF على قيمة جديدة $N_2 = 500Hz$ ،

ونعيد نفس التجربة.

- ندون النتائج في جدول.

	U(V)	5	10	15	20
$N_1 = 100\ Hz$	I(A)	0,07	0,13	0,20	0,27
$N_2 = 500\ Hz$	I(A)	0,15	0,30	0,45	0,60

3 مثال لجدول النتائج المحصّلة

استثمار :

1. خط، في نفس المعلم، المنحنيين الممثلين لتغيرات U بدلالة I بالنسبة للترددين N_1 و N_2.
2. يُرمز للمعامل الموجه لمنحنى U بدلالة I بالحرف Z ويسمى **ممانعة** الدارة، وهو مقدار فيزيائي يميز الدارة RLC بالنسبة لتردد معين.

ما وحدة Z ؟ احسب قيمة Z عند التردد $N_1 = 100Hz$ ، ثم عند التردد $N_2 = 500\ Hz$.

3. تبين الدراسة النظرية أن تعبير ممانعة الدارة هو : $Z = \sqrt{(R+r)^2 + \left(L.2\pi N - \frac{1}{C.2\pi N}\right)^2}$.

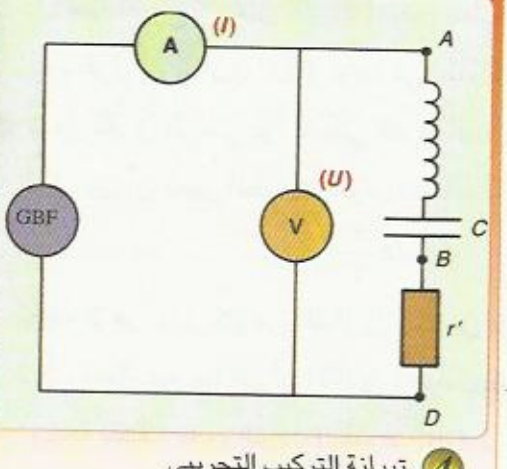
أُحسب قيمة Z بالنسبة للتردد 100Hz وقارنها مع قيمتها التجريبية. ماذا تستنتج ؟

النشاط 2 ظاهرة رنين التيار — نشاط تجريبي

كيف يستجيب المتذبذب الكهربائي المخمد RLC ذي التردد الخاص $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$
إذا قمنا بإثارته بتوتر متناوب جيبي تردده N يساوي التردد الخاص N_0 ؟

TP أ.ت

العدة التجريبية : نفس عدة النشاط السابق (ص 143).



4 تبيانة التركيب التجريبي

- ننجز التركيب الكهربائي الممثل جانبه حيث يعطي مولد التوتر المنخفض GBF توترا متناوبا قيمته الفعالة U وتردده N قابلان للضبط.
- الوشيعة معامل تحريضها الذاتي $L = 0,95H$ ومقاومتها r صغيرة .
- نثبت التوتر الفعال U على القيمة $U = 2,0V$ ، والمقاومة الكلية $R = r + r'$ على القيمة $R_1 = 40\Omega$.
- نغير التردد N للمولد وفي كل مرة نقيس الشدة الفعالة I للتيار.
- نضبط المقاومة الكلية R للدارة على قيمة جديدة $R_2 = 100\Omega$، وذلك بتغيير المقاومة r' للموصل الأومي، ونعيد التجربة السابقة.

réponse	استجابة	éfficace	فعال	impédance	ممانعة

• ندون النتائج في جدول :

N(Hz)	100	120	130	140	150	155	158	160	161	162	166	170	180	200
$R_1 = 40\ \Omega$, I(mA)	2	3,12	4,37	6,25	11,25	16,60	22,5	25	25,75	26,25	23,12	16	9,37	5,37
$R_2 = 100\ \Omega$, I(mA)	2	3,75	4,37	6,25	10	12,5	14,5	14,75	14,87	15	14,5	12,5	8,25	4,75

5 جدول القياسات

استثمار :

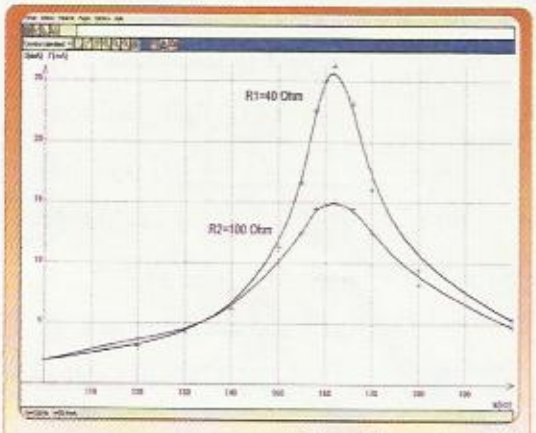
1 مثل في نفس المعلم، المنحنيين I بدلالة N بالنسبة للمقاومتين الكليتين R_1 و R_2 للدارة.

2 يطلق اسم "الرنان" على المتذبذب الكهربائي RLC وإسم "المثير" على مولد التردد المنخفظ GBF.

عندما يأخذ التردد N للمثير قيمة مساوية للتردد الخاص N_0 للرنان، تصبح الشدة الفعالة للتيار المار في الدارة قصوى، نقول في هذه الحالة إن الدارة RLC المتوالية في حالة رنين.

1.2 - حدد بالنسبة لكل منحنى:

- التردد N_0 عند الرنين.
- الشدة الفعالة I_0 عند الرنين.



6 منحنى الاستجابة

2.2 - أحسب Z_1 ممانعة الدارة عند الرنين، ثم قارنها مع المقاومة الكلية R_1 للدارة.

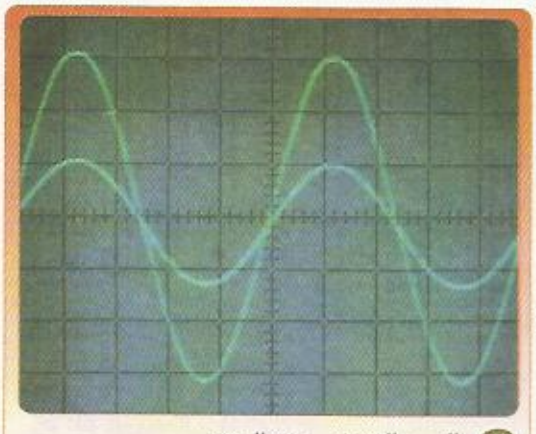
كيف تتصرف الدارة RLC عند الرنين ؟

3 المنطقة المُمَرَّرة ذات "-3dB"(-3décibel) لدارة RLC متوالية هي مجال الترددات $[N_1 ; N_2]$ للمولد حيث تحقق الشدة الفعالة I للتيار العلاقة : $I \geq \frac{I_0}{\sqrt{2}}$.

1.3 - عين كلا من N_1 و N_2 بالنسبة للمنحنى الموافق لـ R_1 .

2.3 - أحسب العرض $\Delta N = N_2 - N_1$ للمنطقة المررة ثم قارنه مع القيمة النظرية $\Delta N = \frac{R_1}{2\pi L}$. ماذا تستنتج ؟

3.3 - ماتأثير المقاومة الكلية للدارة على عرض المنطقة المررة ؟



7 الرسم التذبذبي عند الرنين

4 نضبط تردد المثير (المولد) على القيمة N_0.

1.4 - كيف يجب ربط كاشف التذبذب لمعاينة التوترين $u(t)$ و $u_R(t)$؟

2.4 - هل التوتران $u(t)$ و $u_R(t)$ على توافق في الطور ؟ علل إجابتك.

مثير	excitateur	رنان	résonateur	رنين	résonance

تمثل الدارةRLC المتوالية متذبذبا كهربائيا مخمدا، نضيف إليها على التوالي مولدا كهربائيا يزودها بتوتر متناوب جيبي، فيُفرَض في هذه الحالة على المتذبذب نظام متناوب جيبي. نقول إن الدارةRLC المتوالية توجد في **نظام جيبي وقسري**.

1 النظام المتناوب الجيبي

1.1 - شدة التيار والتوتر المتناوبان الجيبيان

أ - شدة التيار المتناوب الجيبي

• شدة التيار اللحظية $i(t)$

التيار المتناوب الجيبي تيار شدته دالة جيبية للزمن :

$i(t) = I_m.\cos(\omega t + \varphi_i)$ حيث :

I_m : الشدة القصوى للتيار ؛

ω : نبض التيار $i(t)$ ؛

T : دور $i(t)$ ؛

N : تردده ؛

$\omega = 2\pi.N = \frac{2\pi}{T}$

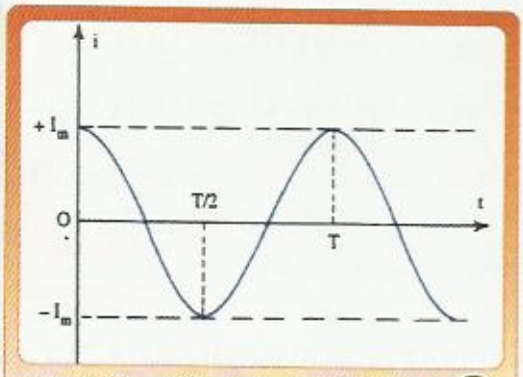
(rad.s-1) (Hz) (s)

$\omega t + \varphi_i$: طور $i(t)$ عند اللحظة ذات التاريخ t

φ_i : طور $i(t)$ عند أصل التواريخ.

• الشدة الفعالة I للتيار.

تقاس الشدة الفعالة I للتيار بواسطة جهاز الأمبير متر وتربطها بالشدة القصوى للتيار العلاقة : $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$



8 تيار متناوب جيبي : متناوب لكونه يغير إشارته كل نصف دور، وجيبي لأن دالته جيبية

9 يُمكن راسم التذبذب من قياس التوتر الأقصى U_m و الدور T لتوتر متناوب جيبي.

ب - التوتر المتناوب الجيبي

• التوتر اللحظي $u(t)$:

التوتر المتناوب الجيبي دالة جيبية للزمن : $u(t) = U_m.\cos(\omega t + \varphi_u)$

U_m: القيمة القصوى للتوتر$u(t)$ وهي تقاس بواسطة جهاز راسم التذبذب؛

ω : نبض التوتر اللحظي $u(t)$؛

$\omega t + \varphi_u$: طور التوتر عند اللحظة ذات التاريخ t ؛

φ_u : طور التوتر $u(t)$ عند أصل التواريخ.

• التوتر الفعالU:

يقاس التوتر الفعال U بواسطة جهاز الفولطمتر، وتربطه بالتوتر الأقصى العلاقة : $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ (النشاط 1 ص 143).

10 يقيس جهاز متعدد القياس مضبوط على الرمز ~ القيم الفعالة لشدة التيار والتوتر المتناوبين الجيبيين

متناوب	alternatif	نبض	pulsation	جهاز	appareil	أقصى	maximal

2.1 - طور التوتر بالنسبة للتيار

نعتبر المقدارين المتناوبين الجيبيين السابقين :

$i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi_i)$ و $u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi_u)$.

هناك فرق في الطور بين $u(t)$ و$i(t)$ قيمته $\varphi_u - \varphi_i$.

نضع : $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$.

نسمي φ طور التوتر$u(t)$ بالنسبة للتيار $i(t)$ وهو مقدار جبري يعبر عنه بالراديان (rad) .

تمكن φ من قياس تقدم أو تأخر التوتر$u(t)$ بالنسبة لشدة التيار $i(t)$.

- إذا كانت $\varphi > 0$ فإن $u(t)$ متقدم في الطور على $i(t)$.
- إذا كانت $\varphi < 0$ فإن $u(t)$ متأخر في الطور على$i(t)$.
- إذا كانت $\varphi = 0$ فإن $u(t)$ و$i(t)$ على توافق في الطور .

ملحوظة : كيف نحدد قيمة φ ؟

عند اختيار طور التيار أصلا للأطوار $(\varphi_i = 0)$.

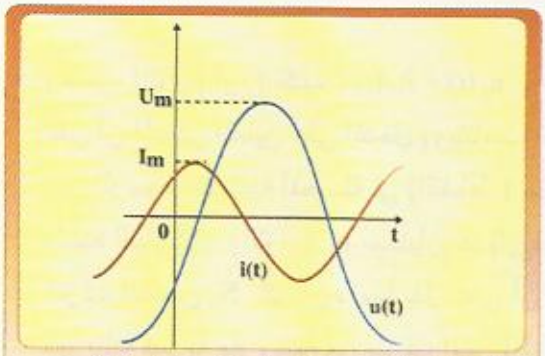
نكتب : $i(t) = I_m \cos(\omega t)$ و $u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$

$$u(t) = U_m \cos\left(\omega\left(t + \frac{\varphi}{\omega}\right)\right) = U_m \cos(\omega(t + \tau))$$

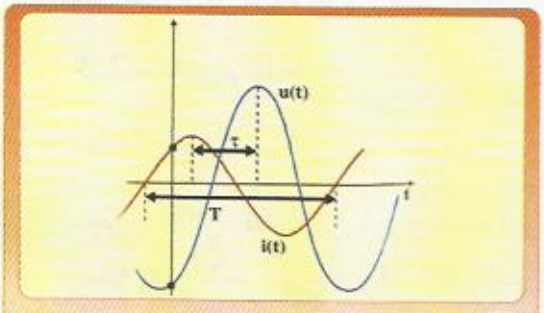
يوافق الطور φ للتوتر$u(t)$ بالنسبة للتيار $i(t)$، المدة الزمنية τ .

حيث $\tau = \frac{\varphi}{\omega}$. يُسمى τ الفرق الزمني بين منحنيي $u(t)$ و $i(t)$. ويُمكّن قياس τ على شاشة راسم التذبذب من تحديد القيمة المطلقة للطورφ :

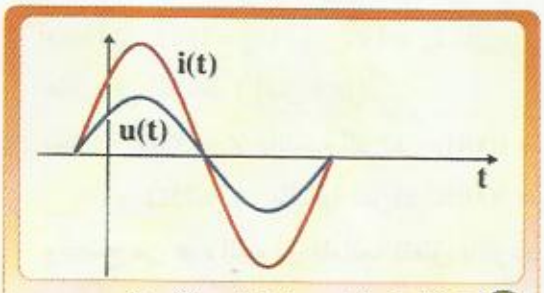
$$|\varphi| = \frac{2\pi.\tau}{T}$$



11 التوتر $u(t)$ متأخر في الطور على $i(t)$ (يصل $i(t)$ إلى القمة قبل$u(t)$). $\varphi < 0$



12 يعتمد قياس φ على الفرق الزمني τ بين منحنيي $u(t)$ و$i(t)$: $|\varphi| = \frac{2\pi.\tau}{T}$



13 توافق في الطور بين $u(t)$و $i(t)$. $\varphi = 0$

2 دراسة دارة RLC متوالية في نظام جيبي وقسري

1.2 - التركيب التجريبي

نعتبر التركيب الكهربائي الممثل في الشكل 14 .

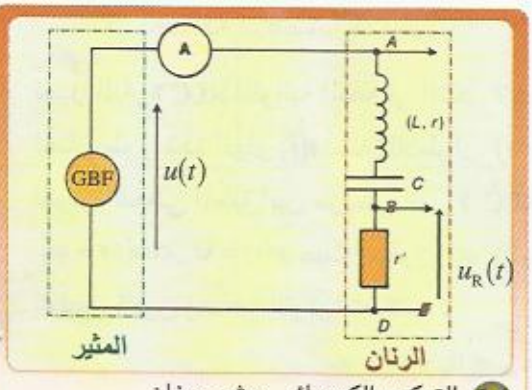
يزود المولد GBF الدارة RLC المتوالية بتوتر متناوب جيبي :

$$u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$$

فيظهر في الدارة RLC المتوالية تيار كهربائي شدته : $i(t) = I_m \cos(\omega t)$ يمثل التيار $i(t)$ استجابة الدارة RLC المتوالية للإثارة التي يفرضها المولد ذي التردد المنخفظ .

نسمي الدارة RLC المتوالية **الرنان** والمولد **المثير** .

يُمكّن المدخلان y_1 و y_2 لراسم التذبذب من معاينة التوتر $u_R(t)$ بين مربطي الموصل الأومي والتوتر $u(t)$ المطبق بين مربطي الدارة RLC.



14 التركيب الكهربائي : مثير - رنان

en phase	توافق في الطور	retard	تأخر	avance	تقدم	décalage horaire	فرق زمني

وحسب قانون (أوم) نكتب : $u_R(t) = R.i(t)$ ، أي $i(t) = \frac{u_R(t)}{R}$ مما يدل على أن المنحنى المعاين على المدخل y_1 يتناسب اطرادا مع الشدة $i(t)$.

تبين الرسوم التذبذبية المحصلة في (النشاط 1 ص143) أن :

- لشدة التيار $i(t)$ والتوتر $u(t)$ منحنيان جيبيان لهما نفس التردد N مخالف للتردد الخاص N_0 للرنان ، مما يدل على أن الدارة RLC مقر ذبذبات كهربائية قسرية مفروضة من طرف المثير (المولد GBF).
- هناك اختلاف في الطور بين $u(t)$ و $i(t)$. ويتعلق φ طور التوتر $u(t)$ بالنسبة للتيار $i(t)$ بتردد المولد (الشكل 15).

2.2 - مفهوم الممانعة

تعريف :

المانعة Z لثنائي قطب هي خارج قسمة التوتر الأقصى U_m المطبق بين مربطيه على الشدة القصوى I_m للتيار المار فيه، وهي مقدار فيزيائي يميز ثنائي القطب بالنسبة لتردد معين : $\boxed{Z = \frac{U_m}{I_m}}$.

وحدة Z هي الأوم (Ω).

وبما أن $U_m = U\sqrt{2}$ و $I_m = I\sqrt{2}$ فإن : $Z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I}$

مثال : في النشاط 1 (ص 143).

نجد : $Z_1 = 33\Omega$ بالنسبة للتردد $N_1 = 100Hz$ ؛

و $Z_2 = 75\Omega$ بالنسبة للتردد $N_2 = 500Hz$.

ويتضح من هذه القيم أن المانعة تتعلق بالتردد.

3.2 - الدراسة النظرية للدارة RLC المتوالية

أ - المعادلة التفاضلية للدارة

نعتبر الدارة RLC المتوالية الممثلة في الشكل 17.

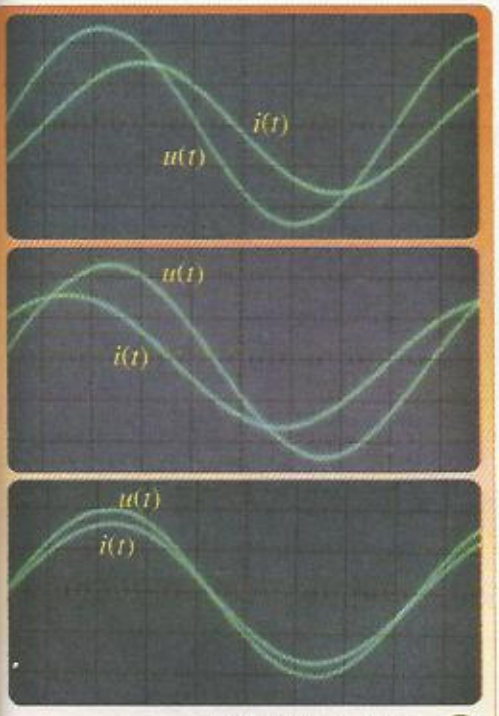
نختار طور شدة التيار $i(t)$ أصلا للأطوار . $i(t) = I_m \cos(\omega t)$

التوتر اللحظي المطبق بين مربطي الدارة RLC هو :

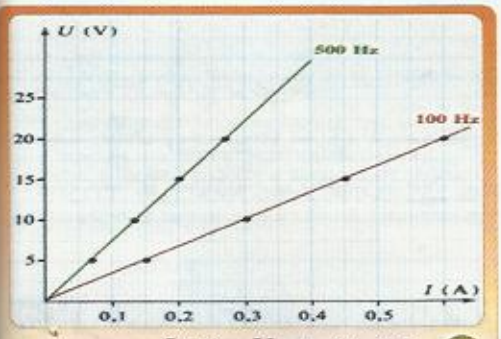
$u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$ حيث φ طور $u(t)$ بالنسبة لـ $i(t)$.

بتطبيق قانون إضافية التوترات نكتب :

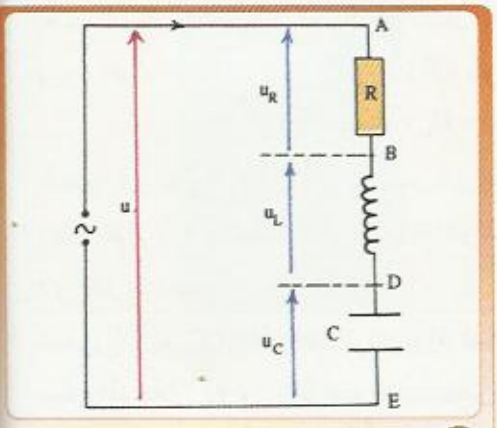
$$u = u_{AE} = u_R + u_L + u_C$$



15 - يتعلق φ بتردد المولد
- لمنحنيي $u(t)$ و $i(t)$ نفس التردد



16 منحنيا تغيرات U بدلالة I
بالنسبة للترددين N_1 و N_2



17 دارة RLC متوالية

impédance	ممانعة	excitateur	مثير	résonateur	رنان	notion	مفهوم

- بالنسبة للموصل الأومي : $u_R = Ri(t)$

- بالنسبة للوشيعة (التي نعتبر مقاومتها مهملة) : $u_L = L\frac{di}{dt}$.

- بالنسبة للمكثف : $u_C = \frac{q}{C}$.

وبما أن $i = \frac{dq}{dt}$ ، فإن q دالة أصلية للشدة i والتي تنعدم عند $t = 0$: $q = \int_0^t idt$ ، وبالتالي $u_C = \frac{1}{C}\int_0^t idt$.

وهكذا فإن :

$$u = Ri(t) + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int_0^t i(t).dt$$

وهي المعادلة التفاضلية للدارة RLC المتوالية. وبما أن $i(t) = I_m \cos(\omega t)$ ، فإن :

$$u = RI_m \cos(\omega t) + L\frac{d}{dt}(I_m \cos\omega t) + \frac{1}{C}\int_0^t I_m \cos(\omega t)dt$$.

أي : $u = RI_m \cos\omega t - L\omega I_m \sin\omega t + \frac{I_m}{C\omega}\sin\omega t$.

وحسب القواعد المثلثية نكتب : $-\sin\omega t = \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ و $\sin(\omega t) = \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ ،

فتصبح المعادلة التفاضلية على الشكل التالي :

$$u = RI_m \cos\omega t + L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I_m}{C\omega}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

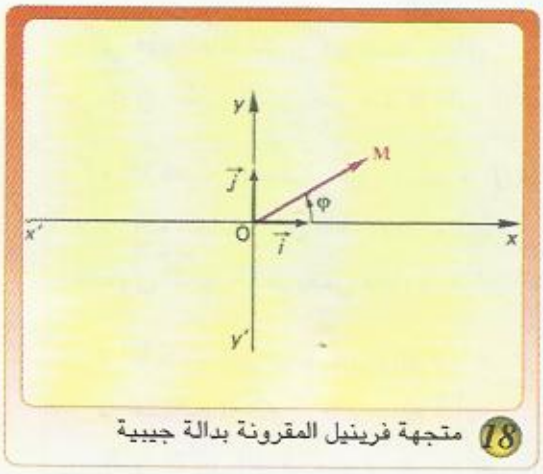
مع : $u = U_m \cos(\omega t + \varphi)$.

ب - حل المعادلة التفاضلية - إنشاء فرينيل

متجهة فرينيل :

في معلم متعامد ممنظم، يمكن أن نقرن دالة جيبية $y = a\cos(\omega t + \varphi)$ بمتجهة $\overrightarrow{OM}$ تسمى **متجهة فرينيل**، تمثّل عادة عند اللحظة $t = 0$ ، حيث :

- أصلها O هو أصل المعلم ؛
- منظمها هو وسع الدالة الجيبية : $\left\|\overrightarrow{OM}\right\| = a$ ؛
- الزاوية التي تكونها $\overrightarrow{OM}$ مع أصل الأطوار $\left(\overrightarrow{Oi}\right)$ هي : $\left(\overrightarrow{OM},\overrightarrow{Oi}\right) = \varphi$.



18 متجهة فرينيل المقرونة بدالة جيبية

إنشاء فرينيل :

لإنجاز مجموع الدالات الجيبية الثلاث التي لها نفس النبض، نقوم بإنشاء فرينيل، حيث :

نقرن $RI_m.\cos(\omega t)$ بالمتجهة $\overrightarrow{V_1}$ مع :

$$\left.\begin{array}{l}\left\|\overrightarrow{V_1}\right\| = RI_m \\ \left(\overrightarrow{V_1},\overrightarrow{Oi}\right) = 0\end{array}\right\}$$

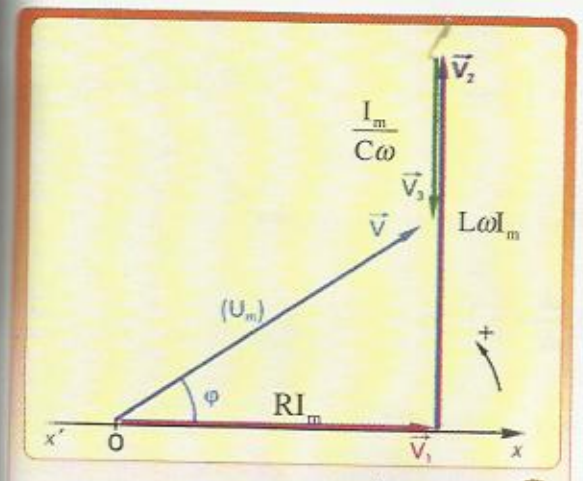
associé	مقرون	construction	إنشاء	vecteur de Fresnel	متجهة فرينيل	trigonométrique	مثلثي

- نقرن $L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ بالمتجهة $\vec{v}_2$ حيث : $\left\|\vec{v}_2\right\| = L\omega I_m$ ، $\left(\vec{v}_2, \vec{Oi}\right) = +\frac{\pi}{2}$

- نقرن $\frac{I_m}{C\omega}.\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ بالمتجهة $\vec{v}_3$ حيث : $\left\|\vec{v}_3\right\| = \frac{I_m}{C\omega}$ ، $\left(\vec{v}_3, \vec{Oi}\right) = -\frac{\pi}{2}$

- نقرن $u = U_m.\cos(\omega t + \varphi)$ بالمتجهة $\vec{v}$ حيث : $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \vec{v}_3$

نحصل على الإنشاء الهندسي الممثل في الشكل 19 .



19 إنشاء فرينيل

اعتمادا على إنشاء فرينيل وحسب مبرهنة (فيتاغورس) نكتب :

$$v^2 = v_1^2 + (v_2 - v_3)^2 \quad ،$$

أي : $U_m^2 = \left[R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2\right] I_m^2$.

الممانعة Z للدارة RLC هي :

لدينا : $Z = \frac{U_m}{I_m}$ أي : $\boxed{Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$.

طور التوتر بالنسبة للتيار يحقق العلاقتين :

لدينا : $\tan\varphi = \frac{v_2 - v_3}{v_1}$ أي : $\boxed{\tan\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}}$.

$\cos\varphi = \frac{v_1}{v} = \frac{RI_m}{U_m} = \frac{RI_m}{Z.I_m}$ أي : $\boxed{\cos\varphi = \frac{R}{Z}}$.

ويتضح من خلال تعبيري Z و φ أنهما يتعلقان بالنبض ω ، أي بالتردد.

ممانعة ثنائي القطب RLC :

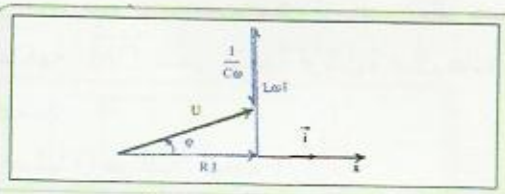
$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$.

الطور φ للتوتر بالنسبة للتيار :

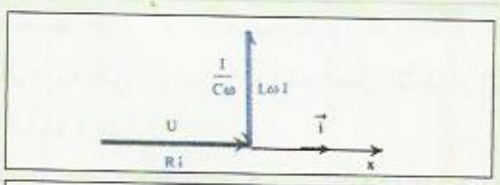
$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ و $\tan\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}$.

ملحوظة :

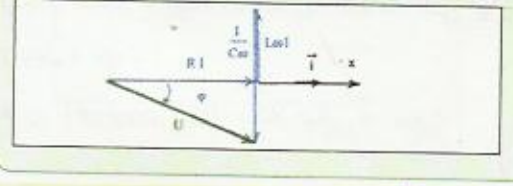
- إذا كانت $\varphi > 0$ ، فإن $u(t)$ متقدم في الطور على $i(t)$.
في هذه الحالة تكون $\tan\varphi > 0$ ، أي : $L\omega > \frac{1}{C\omega}$ ؛
يكون التأثير التحريضي متفوقا على التأثير الكثافي.



- إذا كانت $\varphi = 0$ ، فإن $u(t)$ و $i(t)$ على توافق في الطور.
في هذه الحالة تكون $\tan\varphi = 0$ ، أي : $L\omega = \frac{1}{C\omega}$ ؛
يكون التأثير التحريضي مساويا للتأثير الكثافي.



- إذا كانت $\varphi < 0$ ، فإن $u(t)$ متأخر في الطور على $i(t)$.
في هذه الحالة تكون $\tan\varphi < 0$ ، أي : $L\omega < \frac{1}{C\omega}$ ؛
يكون التأثير الكثافي متفوقا على التأثير التحريضي.



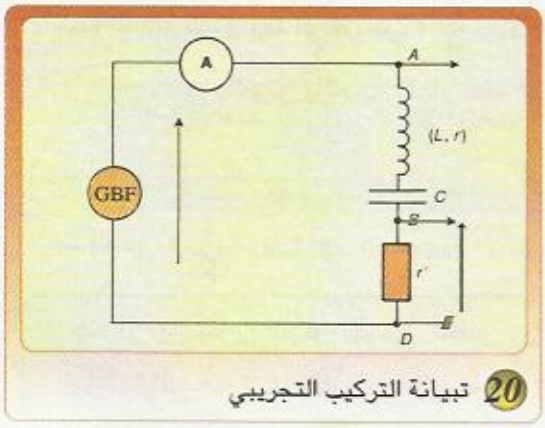
dépendance	تعلق	effet capacitif	تأثير كثافي	effet inductif	تأثير تحريضي

3 ظاهرة الرنين الكهربائي

1.3 ـ نتائج الدراسة التجريبية

في التركيب التجريبي الممثل في الشكل 20 ، نُبقي التوتر الفعال U للمولد ثابتا، ثم نُغير تردده N بالنسبة لقيمتين معينتين للمقاومة الكلية للدارة RLC . نقيس بالنسبة لكل تردد شدة التيار الفعالة I.

نحصل على منحنيي الاستجابة (الشكل 21) (نشاط 2 ص 144).



20 تبيانة التركيب التجريبي

أ ـ قيمة تردد الرنين

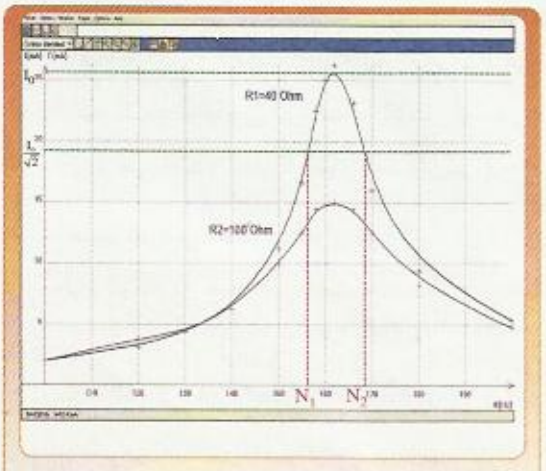
نلاحظ أن المنحنيين المحصلين عليهما يتوفران على قمتين بارزتين، وتوافقان نفس قيمة التردد $N = 160Hz$ ، كيفما كانت المقاومة الكلية R للدارة.

نحسب التردد الخاص : $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

نستنتج أن شدة التيار الفعالة I تأخذ قيمة قصوى عندما يساوي N تردد المولد (المثير) التردد الخاص N_0 للدارة RLC (الرنان) : $N \approx N_0$.

نقول في هذه الحالة إن الدارة RLC في حالة رنين.

> تحدث ظاهرة الرنين الكهربائي عندما يكون تردد التوتر المطبق مساويا للتردد الخاص N_0 للدارة : $N = N_0$.



21 منحنيا الاستجابة

ب ـ دور المقاومة الكلية للدارة

نلاحظ من خلال منحنيي الاستجابة أنه :

ـ إذا كانت مقاومة الدارة R صغيرة، يتوفر منحنى الاستجابة على قمة بارزة، نقول إن الرنين **حاد**.

ـ إذا كانت مقاومة الدارة R كبيرة، يزول الرنين ويكون منحنى الاستجابة منبسطا، نقول إن الرنين **ضبابي**.

2.3 ـ الدراسة النظرية للرنين

أ ـ التردد عند الرنين

لدينا : $I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$

عند الرنين تكون I قصوى أي Z دنيا، ويتحقق ذلك حين تكون :

$L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$ أي $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

plat	منبسط	flou	ضبابي	aigu	حاد	résonance	رنين

تردد الرنين يساوي التردد الخاص N_0 للدارة RLC .

ب - ممانعة الدارة عند الرنين

عند الرنين : $L\omega=\frac{1}{C\omega}$ ، إذن : $Z=R$.

عند الرنين تكون ممانعة الدارة RLC دنيا وتساوي مقاومتها R.

الشدة الفعالة للتيار عند الرنين هي : $I_0=\frac{U}{R}$.

ج - طور التوتر بالنسبة للتيار عند الرنين

رأينا سابقا أن : $\tan\varphi=\frac{L\omega-\frac{1}{C\omega}}{R}$.

عند الرنين : $L\omega=\frac{1}{C\omega}$ أي $\tan\varphi=0$ و $\varphi=0$.

عند الرنين يكون التوتر اللحظي المطبق بين مربطي الدارة RLC والشدة اللحظية $i(t)$ للتيار المار فيها على توافق في الطور.

مثال : في النشاط 2 (ص 144) يبين الرسم التذبذبي وجود توافق في الطور بين $u(t)$ و $i(t)$.

د - المنطقة الممررة ذات "3dB-" (-3décibels)

تعريف :

المنطقة الممررة ذات 3dB - لدارة RLC هي مجال الترددات $[N_1,N_2]$ للمولد حيث تكون الاستجابة I أكبر أو على الأقل تساوي $\frac{I_0}{\sqrt{2}}$ (I_0 هي الشدة الفعالة للتيار عند الرنين).

- تحديد عرض المنطقة الممررة.

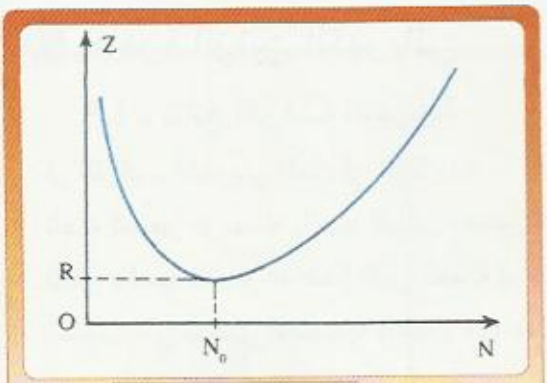
نعتبر الدالة : $I=\frac{U}{Z}=\frac{U}{\sqrt{R^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$

تمثيلها المبياني هو منحنى الاستجابة $I=f(\omega)$.

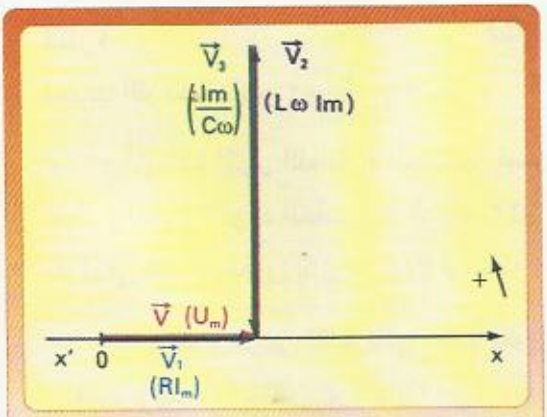
لنبحث عن القيمتين ω_1 و ω_2 اللتين تحدان المنطقة الممررة، أي : المجال $[\omega_1,\omega_2]$ حيث $I\geq\frac{I_0}{\sqrt{2}}$ ، مع $I_0=\frac{U}{R}$ شدة التيار الفعالة عند الرنين.

نكتب : $I=\frac{I_0}{\sqrt{2}}$ أي $\frac{U}{\sqrt{R^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2}}=\frac{U}{\sqrt{2}R}$ ،

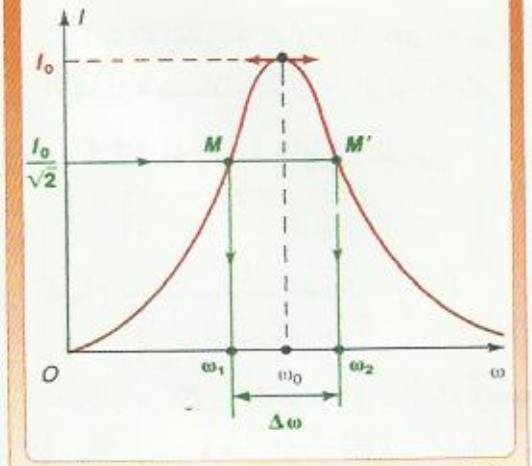
ومنه : $2R^2=R^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2$ وبالتالي $L\omega-\frac{1}{C\omega}=\pm R$.



22 تمثيل الدالة $Z=\sqrt{R^2+\left(L2\pi N-\frac{1}{C2\pi N}\right)^2}$
يبين أنه عند الرنين تكون Z دنيا وتساوي R



23 إنشاء فرينيل عند الرنين، ويلاحظ :
$\varphi=0$ و $L\omega=\frac{1}{C\omega}$ و $Z=R$



24 منحنى الاستجابة بالنسبة للنبض ω
وتمثل $\Delta\omega$ المنطقة الممررة

limite	حد	intervalle	مجال	bande passante	منطقة ممررة

تقبل هذه المعادلة أربعة حلول منها إثنان موجبان وهما :

$$\omega_1 = \frac{-R + \sqrt{R^2 + 4\frac{L}{C}}}{2L} \quad \text{و} \quad \omega_2 = \frac{+R + \sqrt{R^2 + 4\frac{L}{C}}}{2L} .$$

العرض $\Delta\omega$ للمنطقة الممررة هو : $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{R}{L}$ ،

وبما أن : $\Delta N = \frac{\Delta\omega}{2\pi}$ فإن : $\boxed{\Delta N = \frac{R}{2\pi . L}}$.

يتناسب عرض المنطقة الممررة مع المقاومة الكلية R للدارة. كلما كانت R صغيرة كلما كان الرنين حادا ويكون العرض ΔN صغيرا، وبالتالي تكون الدارة انتقائية.

مثال : في النشاط2 ص 144 نجد :

- بالنسبة لـ $R_1 = 40\Omega$: $\Delta N = N_2 - N_1 = 11Hz$ ؛
- بالنسبة لـ $R_2 = 100\Omega$: $\Delta N = N_2 - N_1 = 21Hz$.

ونلاحظ أن ΔN تكبر كلما كبرت قيمة المقاومة، و هذا يتطابق مع الدراسة النظرية.

هـ - معامل الجودة

يعرف معامل الجودة بالعلاقة : $\boxed{Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}}$ ،

ω_0 هو النبض الخاص للدارة RLC و $\Delta\omega$ عرض المنطقة الممررة. عند تعويض $\Delta\omega$ بـ $\frac{R}{L}$ نحصل على : $\boxed{Q = \frac{L\omega_0}{R}}$.

Q بدون وحدة؛ كلما كان الرنين حادا كلما كانت قيمة Q كبيرة .

ملحوظات :

- بتعويض ω_0 بتعبيرها، نجد : $\boxed{Q = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{1}{RC\omega_0} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}}$.

- أحيانا يسمى معامل الجودة **معامل فرط التوتر** :

تعبير التوتر الفعال بين مربطي المكثف عند الرنين هو : $U_c = \frac{1}{C\omega_0} . I_0$ ،

تعبير التوتر الفعال بين مربطي الوشيعة عند الرنين هو : $U_L = L\omega_0 . I_0$،

تعبير التوتر الفعال بين مربطي الدارة RLC عند الرنين هو : $U = R . I_0$.

يلاحظ أن : $Q = \frac{U_c}{U} = \frac{U_L}{U}$ عندما يكون الرنين حادا تكون Q كبيرة.

وهذا يعني أن : $U_c > U$ و $U_L > U$ ، مما يدل على أنه عند الرنين يظهر فرط توتر. وهي ظاهرة تشكل بعض المخاطر (انبعاث شرارات بين لفات الوشيعة) قد تؤدي إلى إتلاف عناصر الدارة (الوشيعة أو المكثف).

معامل الجودة Q مقدار يميز حدة الرنين:

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{L\omega_0}{R}$$

- كلما كانت قيمة Q كبيرة كلما كان الرنين حادا.
- كلما كانت قيمة Q كبيرة كلما كانت الدارة RLC المتوالية أكثر انتقائية (أي عرض المنطقة الممررة أصغر).

معامل الجودة	facteur de qualité	فرط توتر	surtension	انتقائي selectif

4 القدرة في النظام المتناوب الجيبي

1.4 ـ القدرة اللحظية

نعتبر ثنائي قطب AB يمر فيه تيار كهربائي لحظي شدته $i(t) = I\sqrt{2}\cos\omega t$ ويطبق بين مربطيه توتر لحظي $u(t) = U\sqrt{2}\cos(\omega t + \varphi)$.

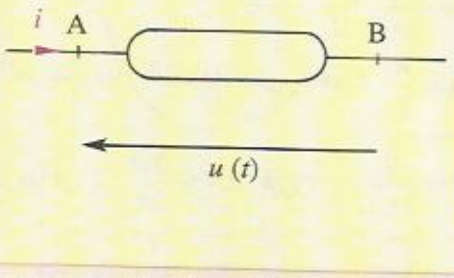
القدرة الكهربائية اللحظية التي يتبادلها ثنائي القطب هي :

$$P(t) = u(t)i(t) = 2UI\cos(\omega t + \varphi)\cos(\omega t)$$.

أي : $$P(t) = UI[\cos\varphi + \cos(2\omega t + \varphi)]$$

يلاحظ أن القدرة اللحظية دالة جيبية نبضها 2ω ودورها $\frac{T}{2}$ ، حيث :

T دور $i(t)$ و $u(t)$.



25 ثنائي قطب AB (في الاصطلاح مستقبل)

في الرياضيات :

$$\cos a.\cos b = \frac{1}{2}[\cos(a+b) + \cos(a-b)]$$

2.4 ـ القدرة المتوسطة

القدرة المتوسطة أو القدرة النشيطة هي مجموع القدرات اللحظية المستهلكة من طرف ثنائي قطب خلال دور واحد T ، نرمز لها بالحرف P.

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T P(t).dt = \frac{1}{T}\int_0^T UI[\cos\varphi + \cos(2\omega t + \varphi)]dt$$

$$= \frac{UI}{T}\left(\cos\varphi.T + \left[\frac{1}{2\omega}\sin(2\omega t + \varphi)\right]_0^T\right)$$

$$= UI\cos\varphi + \frac{UI}{T}.\frac{1}{2\omega}\left(\sin(2\omega T + \varphi) - \sin\varphi\right)$$

بما أن : $\sin(2\omega T + \varphi) = \sin(4\pi + \varphi) = \sin\varphi$ فإن :

$$P = UI\cos\varphi$$

(w) (N) (A)

ـ يسمى الجداء U.I القدرة الظاهرية ويرمز له بالحرف S. $S = UI$

ـ وحدتها في النظام العالمي للوحدات : الفولط أمبير VA.

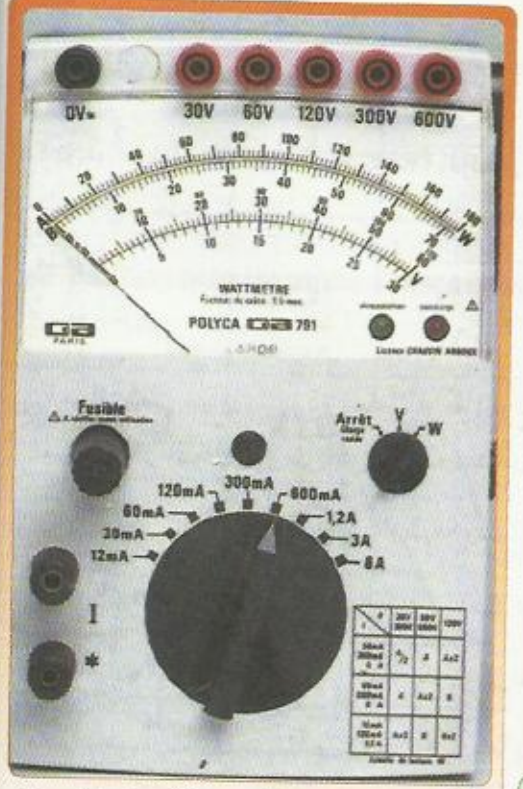
ـ المعامل $\cos\varphi$ يسمى **معامل القدرة**.

ملحوظة : بالنسبة للدارة المتوالية RLC.

لدينا : $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ و $U = Z.I$

القدرة المتوسطة المستهلكة هي : $P = U.I.\cos\varphi = Z.I.I.\frac{R}{Z} = R.I^2$.

في الدارة RLC المتوالية، لا تُستهلك القدرة الكهربائية المتوسطة إلا من طرف المقاومة R بمفعول جول وتساوي هذه القدرة : $P = R.I^2$.



26 تقاس القدرة المتوسطة بواسطة جهاز الواطمتر

active	نشيطة	moyenne	متوسطة	puissance	قدرة

تمرين تطبيقي

أهمية معامل القدرة.

تزود شركة توزيع الكهرباء مصنعا يستهلك قدرة $P = 200\ kW$ بواسطة خط نقل الكهرباء مقاومته $R = 100\Omega$.

1 ـ ليكن U التوتر الفعال الذي يتصرف فيه المستعمل عند نهاية خط النقل.

عبر عن القدرة P' المبددة بمفعول جول في خط النقل بدلالة U والقدرة المستهلكة P ومعامل القدرة للتركيب الكهربائي للمصنع.

2 ـ علما أن معامل القدرة يساوي 0,9، قارن بين P' و P في حالة نقل الكهرباء تحت توتر $U = 20\ kV$ ثم تحت توتر $U = 220\ V$. ماذا تستنتج ؟

3 ـ نأخذ $U = 20\ kV$. قارن بين P' و P إذا كان معامل القدرة 0,9 ثم 0,7 .

لماذا تفرض شركة توزيع الكهرباء على المستهلك معامل قدرة لا يقل عن 0,8 ؟

حـل

1 ـ القدرة المتوسطة المستهلكة : $P = U.I.\cos\varphi$

ومنه $I = \dfrac{P}{U.\cos\varphi}$ القدرة المبددة بمفعول جول هي :

$$P' = RI^2 = R.\frac{P^2}{U^2.\cos^2\varphi}$$

2 ـ $R = 100\Omega$ ، $P = 10\ W$ ، $\cos\varphi = 0,9$

ـ بالنسبة لـ $U = 220\ V$ نجد : $\dfrac{P'}{P} = \dfrac{RP}{U^2\cos^2\varphi} = 510$.

ـ بالنسبة لـ $U = 20\ kV$ نجد : $\dfrac{P'}{P} = 6,2.10^{-2}$.

نلاحظ أن القدرة المبددة خلال النقل تساوي 510 مرة القدرة المستهلكة، عند استعمال توتر فعال منخفض $U = 220\ V$.

وهذا يعني، ضرورة نقل الكهرباء تحت توتر مرتفع.

3 ـ عند توتر عال $U = 20\ kV$:

ـ بالنسبة لـ $\cos\varphi = 0,7$ نجد : $\dfrac{P'}{P} = 10,2\%$.

ـ بالنسبة لـ $\cos\varphi = 0,9$ نجد : $\dfrac{P'}{P} = 6\%$.

الطاقة المبددة خلال النقل تكون مهمة عندما يكون معامل القدرة منخفضاً، وهذا يفسر لماذا تفرض شركة التوزيع على المستهلك معامل قدرة لا يقل عن 0,8 .

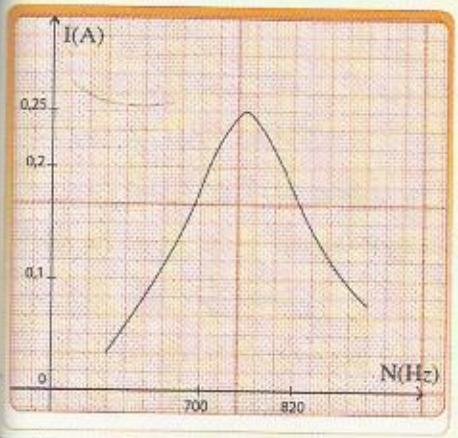
الحصيلة

- في النظام الجيبي والقسري يتذبذب ثنائي قطب RLC بنفس التردد N الذي يفرضه المولد.
- عندما يساوي N تردد المولد، التردد الخاص $N_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ لثنائي القطب RLC ، تحدث ظاهرة رنين شدة التيار، حيث تأخذ الشدة الفعالة للتيار قيمة قصوى.
- ممانعة دارة RLC هي : $Z = \dfrac{U_m}{I_m} = \dfrac{U}{I}$ ، وحدتها الأوم (Ω) وهي تميز دارة RLC بالنسبة لتردد معين. تعبيرها الرياضي هو : $Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \dfrac{1}{c\omega}\right)^2}$ ، حيث R مجموع مقاومات الدارة RLC .
- يحقق φ طور التوتر بالنسبة للتيار العلاقتين : $\cos\varphi = \dfrac{R}{Z}$ و $\tan\varphi = \dfrac{L\omega - \dfrac{1}{c\omega}}{R}$.
- المنطقة الممررة ذات 3dB- هي مجال الترددات $[N_1, N_2]$ حيث : $I \geq \dfrac{I_0}{\sqrt{2}}$ ، (I_0 الشدة الفعالة للتيار عند الرنين)، وعرضها هو : $\Delta N = \dfrac{R}{2\pi L}$.
- يعرف معامل الجودة Q بالعلاقة : $Q = \dfrac{N_0}{\Delta N}$.
- القدرة المتوسطة المستهلكة في ثنائي قطب هي : $P = U.I.\cos\varphi$ (W) (V) (A)
  - $S = U.I$ هي القدرة الظاهرية وحدتها VA .
  - $\cos\varphi = \dfrac{P}{S}$ هو معامل القدرة.

تمرين محلـول

نركب على التوالي وشيعة معامل تحريضيها الذاتي L ومقاومتها مهملة، ومكثفا سعته C ، وموصلا أوميا مقاومته R ، فنحصل على ثنائي قطب AB.

نطبق بين مربطي ثنائي القطب AB توترا متناوبا جيبيا $u(t)=U\sqrt{2}\cos(2\pi Nt+\varphi)$ توتره الفعال $U=10V$ ثابت وتردده N قابل للضبط، فيمر في الدارة تيار كهربائي شدته : $i(t)=I\sqrt{2}\cos(2\pi Nt)$.



1 ـ أعط تعبيري ممانعة الدارة Z والطور φ .

2 ـ نغير التردد N ، ونقيس شدة التيار الفعالة I فنحصل على المنحنى جانبه، والممثل لتغيرات I بدلالة التردد N : $I=f(N)$.

1.2 ـ علل وجود قيمة قصوى لشدة التيار الفعالة I في الدارة .

استنتج ω_0 النبض الخاص للدارة.

2.2 ـ استنتج قيمة R مقاومة الموصل الأومي.

3.2 ـ عرف المنطقة الممررة و أحسب معامل الجودة Q للدارة.

4.2 ـ استنتج قيمتي معامل التحريض الذاتي L للوشيعة وسعة المكثف C.

إرشادات

1 ـ استحضار تعبيري Z و φ

1.2 ـ استحضار تعبير النبض الخاص للدارة : $\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$.

2.2 ـ استغلال المنحنى.

3.2 ـ N_0 لا تمثل منتصف المجال $[N_1,N_2]$

ـ استغلال المنحنى

4.2 ـ استحضار تعبير عرض المنطقة الممررة : $\Delta N=\frac{R}{2\pi L}$.

حـل

1 ـ تعبيرا الممانعة Z والطور φ :

$$Z=\sqrt{R^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2} \quad \text{و} \quad \tan\varphi=\frac{L\omega-\frac{1}{C\omega}}{R}$$

1.2 ـ تعليل وجود قيمة قصوى للشدة الفعالة للتيار الكهربائي :

تكون $I=\frac{U}{Z}$ قصوى عندما تكون Z دنيا. من خلال تعبير Z تكون I قصوى عندما تكون $Z=R$ أي أن : $L\omega_0-\frac{1}{C\omega_0}=0$

وبالتالي : $\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$ النبض الخاص بالدارة.

2.2 ـ قيمة المقاومة R :

عندما تكون الشدة الفعالة للتيار $I=I_0=0,25A$ تكون الدارة في حالة رنين كهربائي أي أن : $Z=R$ ومنه : $U=RI_0$ أي : $R=\frac{U}{I_0}$ ت.ع $R=40\Omega$.

3.2 ـ **المنطقة الممررة ـ معامل الجودة Q :**

• نسمي المنطقة الممررة ذات 3dB- مجال الترددات الذي تكون فيه شدة التيار الفعالة : $I\geq\frac{I_0}{\sqrt{2}}$.

• يعبر عن معامل الجودة بالعلاقة : $Q=\frac{N_0}{\Delta N}$ مع $\Delta N=N_2-N_1$ ، حيث N_1 و N_2 الترددان عند حدّي المنطقة الممررة و N_0 التردد الموافق لـ $I=I_0$.

مبيانيا نجد : $\Delta N=820-700=120Hz$ و $N_0=757,6Hz$.

إذن : $Q=\frac{N_0}{\Delta N}=6,3$

4.2 ـ قيمتا L و C :

يعبر عن عرض المنطقة الممررة بالعلاقة : $\Delta N=\frac{R}{2\pi L}$ أي : $L=\frac{R}{2\pi\Delta N}=0,05H$.

لدينا : $\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$ أي $C=\frac{1}{L\omega_0^2}=\frac{1}{L4\pi^2N_0^2}$. ت ع : $C=882,6nF$.

تمارين لاختبار المعارف

1 أجب بصحيح أو خطأ :

1 - يمكن لطور التوتر بين مربطي ثنائي القطب RLC بالنسبة للتيار أن يكون منعدما.

2 - تكون القدرة الكهربائية المستهلكة في دارة RLC دنيا عند الرنين.

3 - بالنسبة لتردد معين N، يتناسب التوتر الفعال بين مربطي ثنائي القطب RLC اطرادا مع شدة التيار الفعالة.

4 - عند الرنين تكون شدة التيار الفعالة دنيا.

5 - يصغر معامل الجودة Q كلما ازدادت المقاومة R ، للدارة RLC.

2 إختر الجواب الصحيح :

1 - إذا كان التوتر u بين مربطي ثنائي القطب RLC متقدما في الطور على التيار i تكون الدارة :

أ - كثافية ، ب - تحريضية ، ج - عند الرنين.

2 - عند الرنين تكون ممانعة الدارة RLC :

أ - أكبر من R ، ب - أصغر من R ، ج - تساوي R .

3 - تعبير الممانعة Z لدارة RLC هو :

أ - $Z=\sqrt{R^2+\left(L\omega+\frac{1}{C\omega}\right)^2}$ ب - $Z=\frac{1}{\sqrt{R^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$

ج - $Z=\sqrt{R^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2}$.

4 - يعبر عن معامل الجودة Q لدارة RLC نبضها الخاص ω_0 بالعلاقة :

أ - $Q=\frac{R}{L\omega_0}$ ، ب - $Q=\frac{R}{LC}$ ، ج - $Q=\frac{L\omega_0}{R}$

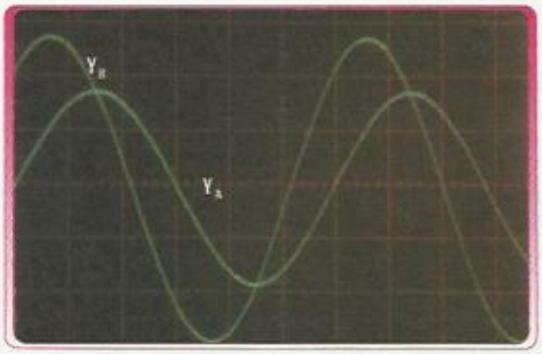
5 - معامل القدرة هو :

أ - $\tan\varphi=\frac{P}{UI}$ ، ب - $\cos\varphi=\frac{P}{UI}$ ، ج - $\sin\varphi=\frac{P}{UI}$

تمارين تطبيقية

3 ننجز التركيب على التوالي، لمولد ذي تردد منخفض وموصل أومي مقاومته R ، ووشيعة معامل تحريضها الذاتي L ومقاومتها مهملة ومكثف سعته C. نعاين بواسطة راسم التذبذب التوتر $u(t)$ بين مربطي المولد والتوتر $u_R(t)$ بين مربطي الموصل الأومي.

نحصل على الرسمين التذبذبين التاليين :



نعطي : الحساسية الرأسية للمدخلين y_A و y_B هي 5 V/cm ، والحساسية الأفقية هي 0,5 ms /cm .

1 - أُرسم تبيانة التركيب التجريبي مبينا عليها كيفية ربط كاشف التذبذب لمعاينة التوترين $u(t)$ و $u_R(t)$.

2 - بين أن المنحنى y_B يمثل $u(t)$ ، والمنحنى y_A يمثل $u_R(t)$.

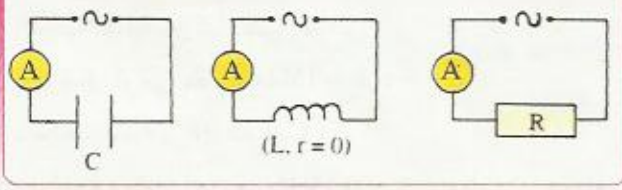
3 - حدد كلا من :

أ - الدور T والنبض ω ؛

ب - التوترين الأقصيين U_m و U_{Rm} ؛

ج - φ طور التوتر $u(t)$ بالنسبة للتيار $i(t)$.

4 ننجز التجربة الممثلة في التبيانات التالية :



نلاحظ أنه عند تطبيق نفس التوتر الجيبي ذي التردد N = 150 Hz ، في الدارات الثلاث ، يشير الأمبير متر إلى نفس شدة التيار.

1 - علما أن $R=440\Omega$.

1.1 - أُحسب معامل التحريض الذاتي L للوشيعة.

2.1 - أُحسب السعة C للمكثف.

2 - أوجد العلاقة بين L و C.

أجوبة : 1.1 - $L=0,47H$ ، 2.1 - $C=2,4\mu F$ ،

2 - $2\pi N=\frac{1}{\sqrt{LC}}$.

5 تشتمل دارة على العناصر التالية مركبة على التوالي :

- موصل أومي مقاومته $R_1 = 48\Omega$ ؛
- وشيعة معامل تحريضها الذاتي $L = 40mH$ ومقاومتها $r = 8\Omega$ ؛
- مكثف سعته $C = 12,3\mu F$ ؛
- أمبير متر مقاومته $R_2 = 4\Omega$ ؛
- مولد التردد المنخفض يزود الدارة بتوتر :
  $u(t) = 20\sqrt{2}\cos(200\pi t)$.

1 - هل الدارة تحريضية أم كثافية ؟ علل إجابتك .

2 - ما تعبير الشدة اللحظية $i(t)$ للتيار المار في الدارة ؟

3 - أحسب التوترين الفعالين U_L و U_C بين مربطي كل من الوشيعة والمكثف .

أجوبة :

1 - تحريضية .

2 - $i(t) = 0,23\cos\left(200\pi t - \frac{\pi}{3}\right)$.

3 - $U_L = 4,38V$ و $U_C = 21,5V$.

6 **القدرة الكهربائية :**

يمر تيار متناوب جيبي تردده $N = 50Hz$ في ثنائيات القطب التالية مركبة على التوالي :

- موصل أومي مقاومته $R = 15\Omega$ ؛
- مكثف سعته $C = 15\ \mu F$ ؛
- وشيعة معامل تحريضها $L = 0,15H$ ومقاومتها مهملة .

1 - أحسب ممانعة كل ثنائي قطب على حدة وممانعة الدارة RLC المتوالية .

2 - أحسب القدرة الكهربائية المتوسطة المستهلكة في كل ثنائي قطب على حدة ، و استنتج القدرة المستهلكة في الدارة RLC المتوالية عندما يكون التوتر الفعال بين مربطي ثنائي القطب $U = 100V$ .RLC . ماذا تستنتج ؟

أجوبة :

1 - 15Ω ؛ $2,1.10^2\Omega$ ؛ 47Ω ؛ $1,710^2\Omega$.

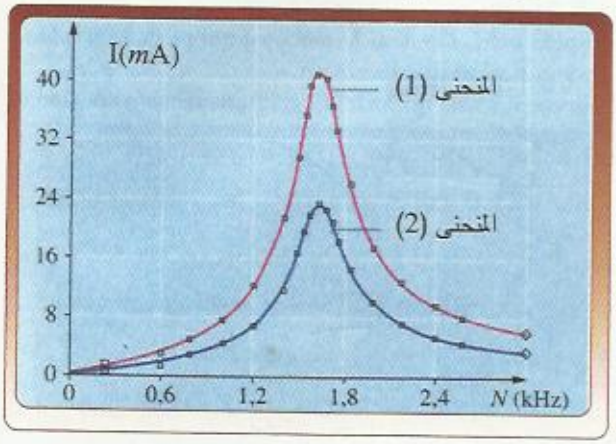
2 - $5,4W$ ؛ $0W$ ؛ $0W$ ؛ $5,4W$.

تمارين توليفية

7 **منحنيات الرنين :**

نركب على التوالي مكثفا سعته C ووشيعة معامل تحريضها الذاتي $L = 43,5mH$ ومقاومتها r ، وموصلا أوميا مقاومته $R = 76,0\Omega$ ، وأمبير مترا ومولدا للتردد المنخفض GBF يزود الدارة بتوتر متناوب جيبي قيمته الفعالة U قابلة للضبط .

1 - يمثل المنحنى 1 الممثل في الشكل أسفله تغيرات شدة التيار الفعالة I بدلالة التردد N ، عندما تأخذ U القيمة 3,5 V .



1.1 - عين مبيانيا قيمة التردد N_0 عند الرنين و استنتج C .

2.1 - أحسب ممانعة الدارة Z_0 عند الرنين ثم استنتج مقاومة الوشيعة r .

2 - نعوض في الدارة RLC الوشيعة السابقة بوشيعة أخرى معامل تحريضها L' ومقاومتها r' ، ونضبط التوتر الفعال للمولد GBF على قيمة U' . يمثل المنحنى 2 تغيرات I بدلالة التردد N في هذه الحالة .

1.2 - ما قيمة L' ؟

2.2 - حدد عرض المنطقة الممررة ΔN واستنتج r' .

3.2 - أحسب القيمة الفعالة U' للتوتر .

أجوبة :

1.1 - $C = 0,23\mu F$ ، $N_0 = 1,6kHz$.

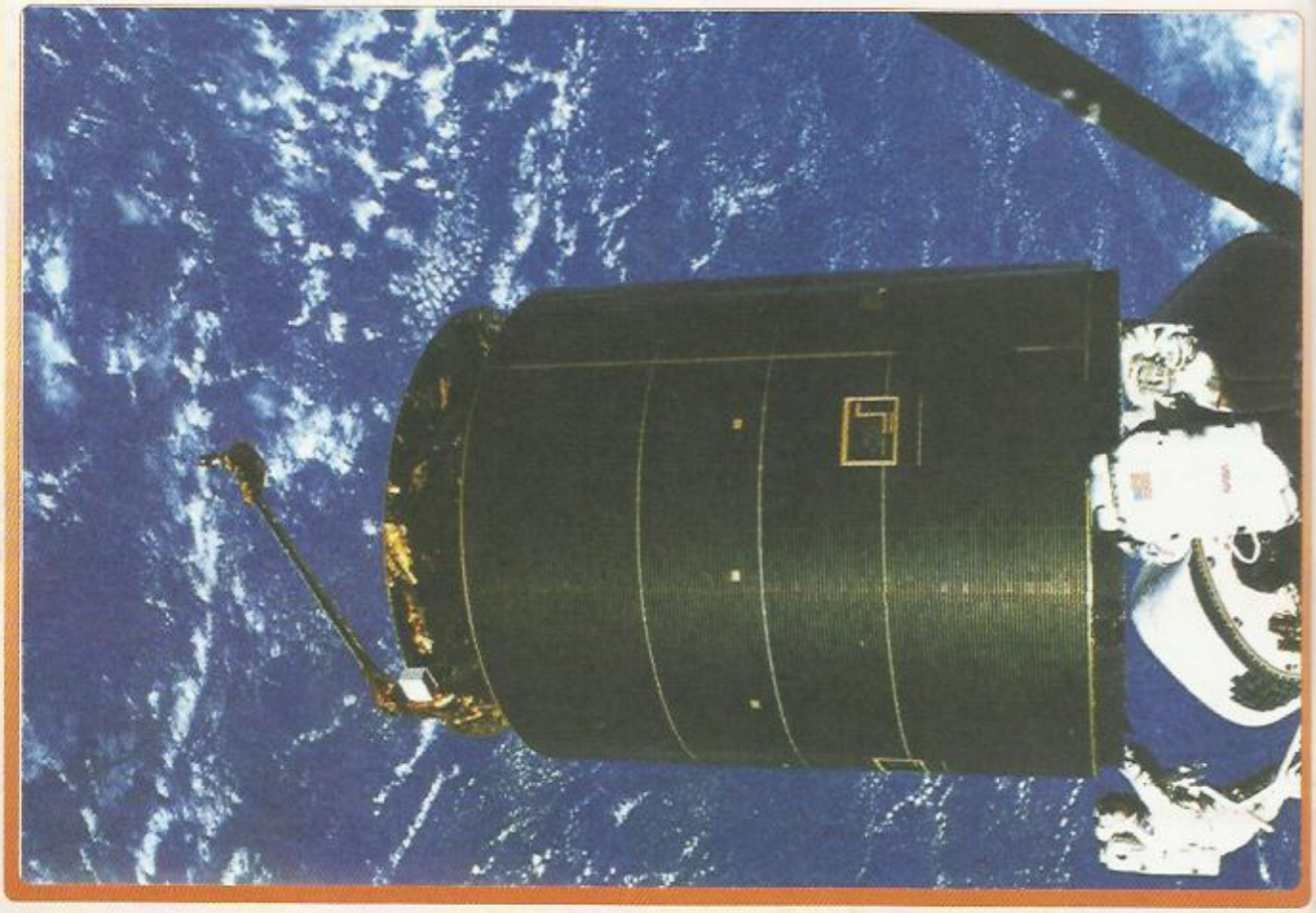
2.1 - $r = 9\Omega$, $Z_0 = 85\Omega$.

1.2 - $r' = 6\Omega$ ، $\Delta N = 0,3kHz$ ، $L = L' = 43,5mH$.

2.2 - $U' = 2V$.

11 الموجات الكهرمغنطيسية ـ نقل المعلومات

Les ondes électromagnétiques – Transmission d'informations



لنقل المعلومات عبر الأقمار الاصطناعية، تستعمل موجات كهرمغنطيسية ذات ترددات عالية جدا.

ما الموجة الكهرمغنطيسية ؟ وكيف توظف في نقل المعلومات ؟

الأهداف

- تعرُّف كيفية نقل المعلومات بواسطة موجة كهرمغنطيسية حاملة ؛
- تعرُّف أهم العمليات اللازمة لتحويل المعلومات إلى رسائل شفوية أو كتابية ؛
- تعرُّف أن الموجة الكهرمغنطيسية المرسلة عبر هوائي لها نفس تردد الإشارة الكهربائية التي تحمل المعلومة، ونفس الشيء عند الاستقبال ؛
- تعرُّف التعبير الرياضي لتوتر جيبي ؛
- تعرُّف مختلف أنواع تضمين توتر جيبي.

النشاط 1 — لمحة تاريخية — نشاط وثائقي

يُعتبر الفيزيائي الألماني (هينريش هرتزHeinrich Hertz(1857 م ـ 1894م)) أول من أبرز تجريبيا وجود الموجات الكهرمغنطيسية وكذا انتشارها في الهواء. وقد أطلق على هذه الموجات اسم الموجات الهرتزية.

• إبحث في موسوعة علمية أو على شبكة الأنترنيت عن إجابات الأسئلة التالية :
يمكن الاستعانة بالموقع التالي :

(http//:www.radio-france.fr/chaines/radio-france/musee

1 هينريش هرتز (1857 م ـ 1894م)

1- صِف مستعينا بتبيانة تجربة (هينريش هرتز) المنجزة سنة 1887م. ما هي مكونات باعث موجات هيرتز وكذا مستقبلها ؟ وما المسافة التي قطعتها هذه الموجات ؟

2- ما وحدة التردد ؟ وما رمزها ؟

3- ما اسم العالم الإيطالي الذي أنجز أول اتصال لا سلكي عابر للمحيط الأطلنتي بواسطة الموجات الهرتزية ؟ وفي أي سنة ؟

4- ما مجال ترددات موجات الراديو ؟

النشاط 2 — إرسال واستقبال المعلومات بواسطة الموجات الكهرمغنطيسية — نشاط تجريبي

كيف توظف الموجات الكهرمغنطيسية في نقل المعلومات ؟

المناولة 1 : إرسال واستقبال إشارة صوتية بواسطة حزمة ضوئية

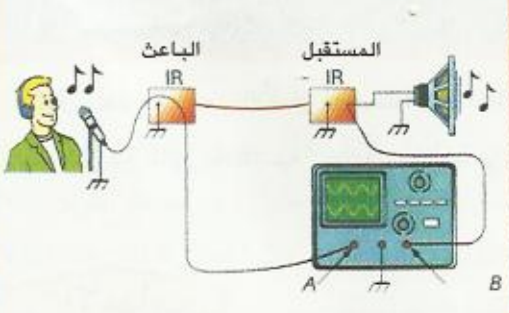
العدة التجريبية : مولد التردد المنخفضGBF، ميكروفون، مجموعة تجريبية لإرسال واستقبال الأشعة تحت الحمراء، ليف بصري، راسم تذبذب ذاكراتي، مكبر الصوت، أسلاك الربط.

• ننجز التركيب التجريبي الممثل جانبه.

• نتكلم أمام الميكروفون ونسمع الصوت المنبعث من مكبر الصوت.

• نعوض الميكروفون بمولد التردد المنخفض GBF ضبط على توتر متناوب جيبي تردده مسموع وقيمته 440 Hz مثلا.

• نعاين على شاشة راسم التذبذب الإشارتين؛ المنبعثة من جهاز GBF والمستقبلة من طرف مكبر الصوت.



2 إرسال واستقبال إشارة صوتية عبر ليف بصري

استثمار :

1 الصوت المحدث أمام الميكروفون هو المعلومة المراد إرسالها.

1.1 - حدّد الدور الذي يلعبه كل من الميكرفون ومكبر الصوت.

2.1 - ما دور الليف البصري ؟

3.1 - قارن بين شكلي ودوري ووسعي الإشارة المنبعثة من GBF والإشارة الكهربائية التي يستقبلها مكبر الصوت.

onde hertzienne	موجة هرتزية	fibre optique	ليف بصري	modulation	تضمين	modulant	مضمِّن

2 تسمى الإشارة الكهرمغنطيسية المنتشرة داخل الليف البصري **بالموجة الحاملة**، لأنها تحمل المعلومة المراد إرسالها.
يُمكّن الجهاز الباعث للأشعة تحت الحمراء، الإشارة الكهربائية الواردة من الميكروفون (والتي تضم المعلومة)، من تعديل الموجة الحاملة حسب تغير المعلومة. نقول إن الإشارة التي تضم المعلومة **تُضمّن** الموجة الحاملة. ونقول إن الموجة الحاملة المنتشرة داخل الليف البصري **موجة مضمّنة**.

1.2 - ما طبيعة الموجة الحاملة ؟ وما رتبة قدر سرعة انتشارها ؟

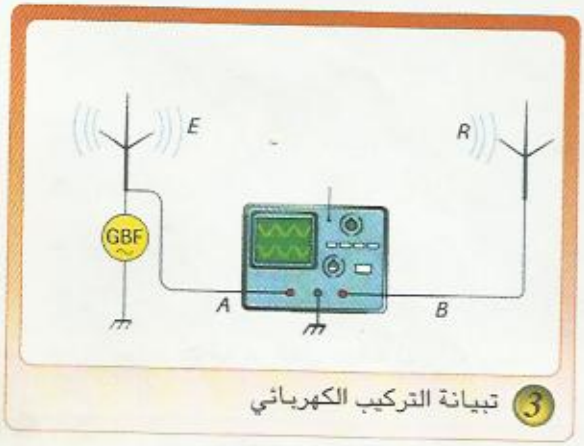
2.2 - ما الإشارة المضمّنة؟ وما الإشارة المضمّنة ؟

3.2 - اقترح تعريفا لعملية التضمين.

المناولة 2 : إرسال واستقبال موجة كهرمغنطيسية

العدة التجريبية : مولد التردد المنخفض GBF، راسم التذبذب، سلكان موصلان (هوائيان) ، أسلاك الربط.

- ننجز التركيب التجريبي الممثل جانبه.
- نغذي السلك الكهربائي E بواسطة مولد التردد المنخفض GBF ضبط على توتر جيبي وسعه $U_m = 5V$ وتردده $f = 20kHz$.
- نعاين على شاشة راسم التذبذب التوتر بين مربطي GBF والتوتر الذي يستقبله السلك الكهربائي R.



3 تبيانة التركيب الكهربائي

استثمار :

1 ما دور كل من السلكين الكهربائيين E و R ؟

2 قارن بين التوترين المشاهدين على شاشة راسم التذبذب. ماذا تستنتج ؟

3 ما طبيعة الموجة المنتشرة بين السلكين E و R ؟ وما سرعة انتشارها ؟

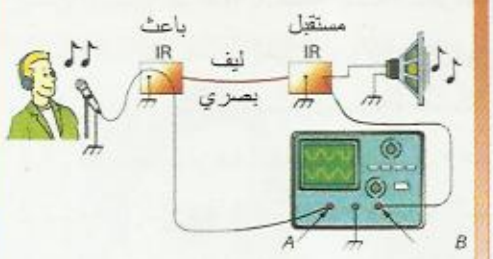
information	معلومة	microphone	ميكروفون	antenne	هوائي	porteuse	حاملة

1 نقل المعلومة

1.1 ـ نقل إشارة صوتية بواسطة حزمة ضوئية

في النشاط 2 (ص160) المعلومة المراد إرسالها هي عبارة عن رسالة صوتية، يلتقطها الميكروفون فيحولها إلى إشارة كهربائية.

تحمل الحزمة الضوئية المنتشرة داخل الليف البصري هذه الإشارة الكهربائية، بسرعة انتشار تقارب $2.10^8 m/s$. أما مكبر الصوت فهو يستقبل الإشارة الكهربائية ويحولها إلى إشارة صوتية. تسمى الحزمة الضوئية الموجة الحاملة وتتغير حسب الإشارة الكهربائية المراد نقلها، نقول إن الحزمة الضوئية مضمّنة.



4 تبيانة التركيب التجريبي

2.1 ـ الإشارة والموجة الحاملة

الموجة الحاملة هي الحامل الذي يتم بواسطته نقل المعلومة.
تُحوَّل المعلومة المراد إرسالها إلى إشارة كهربائية.
تضمّن هذه الإشارة الكهربائية الموجة الحاملة .

5 ألياف بصرية

وتجدر الإشارة إلى أن الإشارة المراد إرسالها (إشارة مضمّنة) إشارة كهربائية ذات تردد منخفض، أما الموجة الحاملة فهي موجة جيبية ترددها مرتفع (من بضع مئات الكيلوهرتزات إلى بضع عشرات الجيغا هرتزات).

تغير الإشارة المضمّنة إحدى مميزات الموجة الحاملة : إنه مبدأ التضمين.

تبيّن التبيانة التالية مراحل عملية نقل المعلومة.

يمكن للموجة الحاملة أن تكون موجة ضوئية (جهاز التحكم عن بعد، منارة،...) أو موجة هرتزية (الراديو، هاتف محمول،...). عند الاستقبال يجب فصل الإشارة عن الموجة الحاملة، تسمى هذه العملية : إزالة التضمين.

مضمّن	modulé	نقل	transport	إزالة التضمين	démodulation	إشارة	signal

3.2 ـ استعمال الموجات الكهرمغنطيسية

تُمكّن الموجات الكهرمغنطيسية من نقل إشارة تضم معلومة، لمسافات كبيرة جدا، دون انتقال للمادة. وتنتقل هذه المعلومة بسرعة الموجة الكهرمغنطيسية ($3{,}0 \times 10^8$ m/s)(النشاط 1 ص160). وتجدر الإشارة إلى أنه كلما كان تردد الموجة عاليا كلما قطعت هذه الأخيرة مسافة أكبر، الشيء الذي يجعل استعمالها متعددا. يُستعمل مجال الترددات المنخفضة والمتوسطة والعالية للموجات الكهرمغنطيسية الهرتزية في نقل موجات الراديو، أما مجال الترددات العالية جدا، فيستعمل في نقل المعلومات عبر الأقمار الاصطناعية (الشكل 8).

8 نقل المعلومات عبر الأقمار الاصطناعية (مجال الترددات العالية جدا)

3 تضمين توتر جيبي

1.3 ـ ضرورة عملية التضمين

توافق المعلومات المراد نقلها (موسيقى، صوت، صورة، ...) إشارات ذات ترددات منخفضة BF (من رتبة قدر الكيلوهرتز) إلا أن هذه الإشارات لا يمكن أن تنتقل، نظرا للأسباب التالية :

- إن أبعاد الهوائي المستقبل لموجة معينة يجب أن تقارب نصف طول الموجة. وهذا يتطلب أبعادا جد كبيرة غير قابلة للإنجاز.
- لا يمكن للمستقبل التمييز بين مختلف الإرسالات، نظرا لضيق مجال الترددات BF.
- الإشارات BF تُخمد مع طول المسافة.

إن نقل المعلومة يتم بكيفية جيدة في مجال الترددات العالية، الشيء الذي يستلزم استعمال موجة حاملة ذات تردد عال، تحمل الإشارة BF على شكل موجة مضمّنة.

9 مبدأ إرسال معلومة

لنقل إشارة ذات تردد منخفض، يجب تضمين موجة حاملة ترددها عال بهذه الإشارة.

2.3 ـ التوتر الجيبي

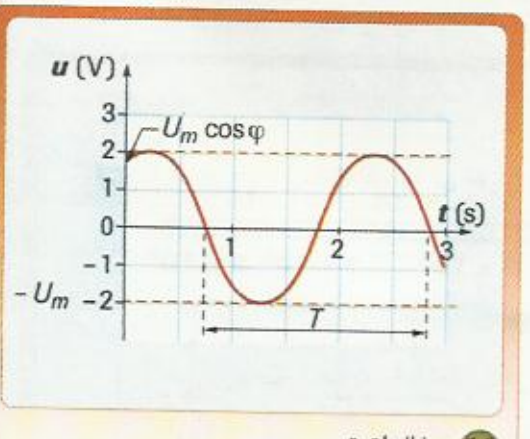
التعبير الرياضي لتوتر $u(t)$ جيبي هو :

$u(t) = U_m \cos(2\pi . f\, t + \varphi)$ حيث :

U_m : الوسع (V)

f : التردد (Hz)

φ : الطور عند أصل التواريخ



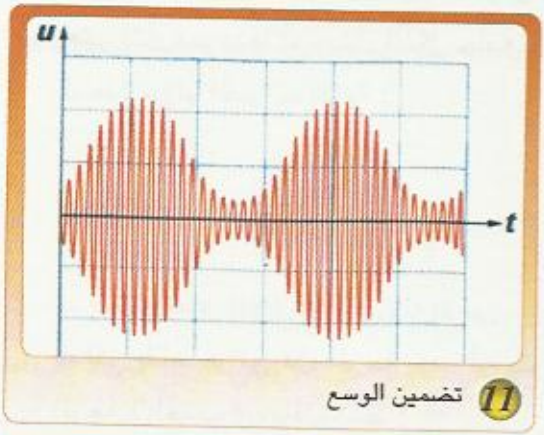
10 مثال لتوتر جيبي

3.3 ـ مقادير يمكن تضمينها

الموجة الحاملة عبارة عن توتر جيبي، والمقادير التي يمكن تضمينها إذن هي الوسع U_m أو التردد f أو الطور φ عند أصل التواريخ، فنحصل بالتتابع على تضمين الوسع وتضمين التردد وتضمين الطور.

أ ـ تضمين الوسع

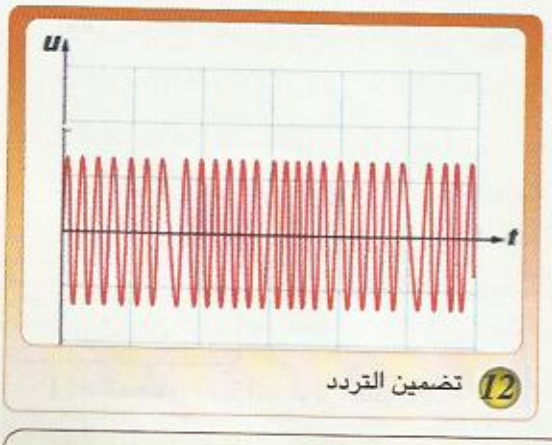
وسع الموجة الحاملة U_m يتغير حسب الإشارة المضمِّنة. وتعبير التوتر المضمَّن الوسع هو : $u(t) = U_m(t).\cos(2\pi.f.t + \varphi)$ ، حيث f و φ ثابتتان.



11 تضمين الوسع

ب ـ تضمين التردد

تردد الموجة الحاملة f يتغير حسب الإشارة المضمِّنة. تعبير $u(t)$ في هذه الحالة هو : $u(t) = U_m.\cos(2\pi.f(t).t + \varphi)$ ، حيث U_m و φ ثابتتان.



12 تضمين التردد

ب ـ تضمين الطور

طور الموجة الحاملة φ يتغير حسب الإشارة المضمِّنة. تعبير $u(t)$ هو : $u(t) = U_m.\cos(2\pi.f.t + \varphi(t))$ حيث U_m و f ثابتتان.

الحصيلة

□ نقل المعلومة

- نسمي الموجة الحاملة الموجة التي يتم بواسطتها نقل المعلومة، ويكون ترددها عاليا.
- تُضمَّن الإشارة المراد إرسالها الموجة الحاملة ، ويكون تردد هذه الإشارة منخفضا.

□ الموجات الكهرمغنطيسية

- تنقل الموجة الكهرمغنطيسية المعلومة، بسرعة انتشار $c = 3{,}010^{8}\,ms^{-1}$ دون انتقال للمادة وإنما بانتقال للطاقة.
- للموجة الكهرمغنطيسية المرسلة من طرف هوائي باعث نفس تردد الإشارة الكهربائية المحدثة فيه.
- للموجة الكهرمغنطيسية المرسلة التي يلتقطها هوائي مستقبل نفس تردد الإشارة الكهربائية المحدثة فيه.

□ تضمين توتر جيبي $u(t) = U_m.\cos(2\pi.f.t + \varphi)$

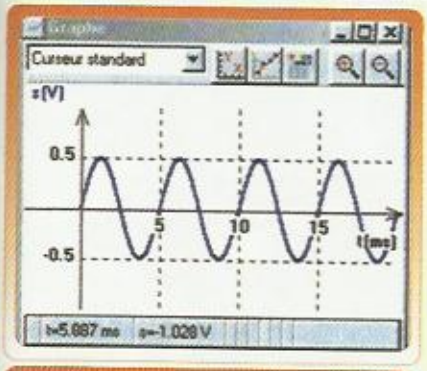
U_m : الوسع (V) ؛
f : التردد (Hz) ؛
φ : الطور عند أصل التواريخ.

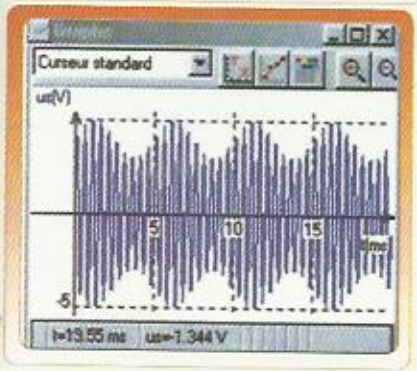
- تعبير توتر جيبي هو :
- في حالة تضمين الوسع : الوسع $U_m(t)$ يتغير حسب تغير الإشارة المضمِّنة.
- في حالة تضمين التردد : التردد $f(t)$ يتغير حسب تغير الإشارة المضمِّنة.
- في حالة تضمين الطور : الطور $\varphi(t)$ يتغير حسب تغير الإشارة المضمِّنة.

تمرين محلـول

مميزات توتر جيبي

نعتبر إشارة ترددها f، ويمثل الشكل جانبه التوتر المعبر عنها.





1- حدد مبيانيا المميزات التالية :

أ ـ الوسع U_m .

ب ـ الطور φ عند أصل التواريخ.

ج ـ التردد f.

د ـ استنتج تعبير التوتر $u(t)$ بدلالة الزمن.

2- لكي يلتقط هوائي هذه الموجة يجب أن يكون طوله ℓ يقارب نصف طول الموجة λ. أحسب ℓ . ماذا تلاحظ ؟

نعطي سرعة انتشار الموجات الكهرمغنطيسية : $c = 3.10^8 m.s^{-1}$.

3- لإرسال هذه الإشارة في ظروف جيدة نرسلها بواسطة موجة حاملة مضمّنة (الشكل جانبه).

أ ـ ما المقدار الذي تم تغييره في الموجة الحاملة ؟

ب ـ ما اسم هذا النوع من التضمين ؟

إرشادات

1 ـ استحضار مميزات توتر جيبي.

2 ـ استحضار العلاقة بين الدور T وطول الموجة λ .

3 ـ استحضار تعريف تضمين وسع توتر جيبي.

حـل

1 ـ أ ـ الوسع هو القيمة القصوى للتوتر : $U_m = 0,5V$.

ب ـ الطور عند أصل التواريخ φ :

عند التاريخ $t = 0$ لدينا : $u(0) = 0$.

بما أن تعبير التوتر $u(t) = U_m \cos(2\pi ft + \varphi)$ فإن : $u(0) = U_m \cos\varphi = 0$ ،

ومنه $\cos\varphi = 0$ أي $\varphi = \pm\frac{\pi}{2}$.

وبما أن $\left(\frac{du(t)}{dt}\right)_{t=0} = -U_m 2\pi f \sin\varphi > 0$ فإن $\sin\varphi < 0$ ،

ومنه : $\varphi = -\frac{\pi}{2}$.

ج ـ التردد f : لدينا $f = \frac{1}{T}$. T الدور . مبيانيا نجد : $T = 5ms$ أي $f = 200Hz$

د ـ تعبير التوتر $u(t)$ بدلالة الزمن هو $u(t) = U_m \cos(2\pi ft + \varphi)$ ،

أي : $u(t) = 0,5\cos\left(1257t - \frac{\pi}{2}\right)$.

2 ـ لدينا : $\ell = \frac{\lambda}{2}$ و $\lambda = cT$ ومنه $\ell = c\frac{T}{2}$ ، c : سرعة انتشار الموجات الكهرمغناطيسية. ت ع : $\ell = 750km$. هذا الطول غير عملي بالنسبة للهوائي (طول كبير جدا).

3 ـ أ ـ المقدار الذي تم تغييره في الموجة الحاملة هو وسعها.

ب ـ يسمى هذا التضمين : تضمين الوسع.

تمارين لاختبار المعارف

1 أجب بصحيح أو خطأ :

1 - الصوت مثل الضوء، موجة كهرمغنطيسية.

2 - ينتشر الضوء والصوت في الفراغ.

3 - الموجة الكهرمغنطيسية المنبعثة من هوائي لها نفس تردد الإشارة الكهربائية التي يستقبلها.

4 - لنقل معلومة يمكن استعمال موجة كهرمغنطيسية تسمى موجة حاملة.

5 - تضمين الوسع هي عملية تغيير وسع الموجة الحاملة حسب الإشارة الكهربائية التي تضم المعلومة.

2 اختر الجواب الصحيح :

1 - رتبة قدر طول الموجة للموجات الضوئية المرئية هي :

أ - 10^{3}m ؛ ب - 10^{7}m ؛ ج - 10^{-12}m.

2 - للموجة الكهرمغنطيسية التي يستقبلها هوائي والإشارة الكهربائية الناتجة عنها :

أ - نفس التردد ؛ ب - ترددان مختلفان.

3 - الموجة الكهرمغنطيسية تنقل :

أ - المادة ؛ ب - الطاقة.

تمارين تطبيقية

3 **التوتر الجيبي**

تعبير توتر جيبي $u(t)$ هو : $u(t) = U_m \cos(2\pi . f . t + \varphi)$.

اعط تعريف كل المقادير التي توجد في تعبير $u(t)$ وذكر بوحدتها.

4 **نقل موجة**

يستقبل هوائي إشارة كهربائية ترددها 400 kHz، ويبعثها على شكل إشارة كهرمغنطيسية.

1 - ما تردد الموجة الكهرمغنطيسية ؟

2 - يستقبل هوائي آخر الموجة الكهرمغنطيسية فيحولها إلى إشارة كهربائية. ما تردد الموجة الكهربائية ؟

5 **توتر مضمّن**

تعبير توتر مضمّن $u(t)$ هو :

$$u(t) = 4 \times \left[1 + 0{,}48\cos\left(1{,}6.10^{2}t\right)\right]\cos\left(2{,}5\times10^{4}t\right)$$

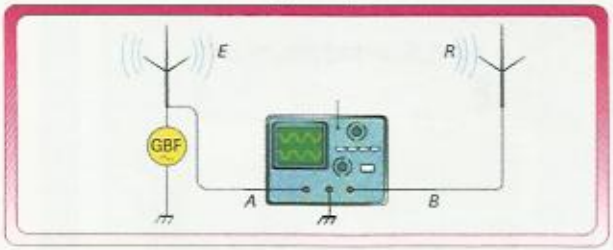
1 - ما نوع هذا التضمين : تضمين الوسع أم تضمين التردد أم تضمين الطور ؟

2 - ما تردد كل من الموجة الحاملة والموجة المضمّنة ؟

أجوبة : 1 - تضمين الوسع 2 - تردد الموجة الحاملة $2{,}5.10^{4}$Hz و تردد الموجة المضمّنة $1{,}6.10^{2}$Hz.

6 **إرسال واستقبال موجة كهرمغنطيسية**

نعتبر التركيب التجريبي التالي :



1 - ما دور كل من السلك E والسلك R ؟

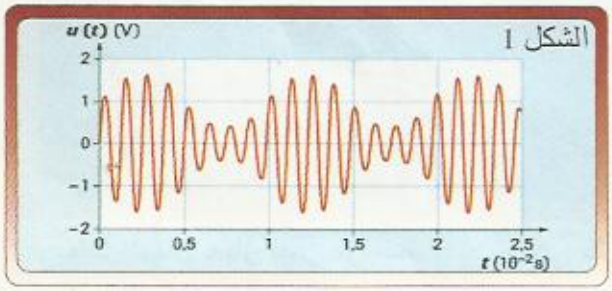
2 - قارن بين التوتر بين مربطي مولد التردد المنخفض GBF والتوتر الذي يستقبله السلك R.

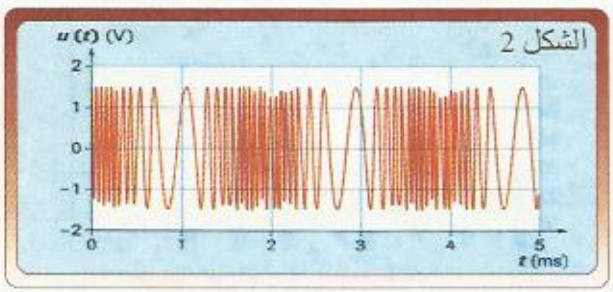
3 - ما طبيعة الموجة المنتشرة بين E و R ؟ وما سرعة انتشارها ؟

4 - كيف يجب اختيار تردد الموجة لكي تنتشر عبر مسافات بعيدة ؟

تمارين توليفية

7 يمثل الشكلان 1 و 2 أسفله تضمين وسع إشارة، وتضمين تردد إشارة.





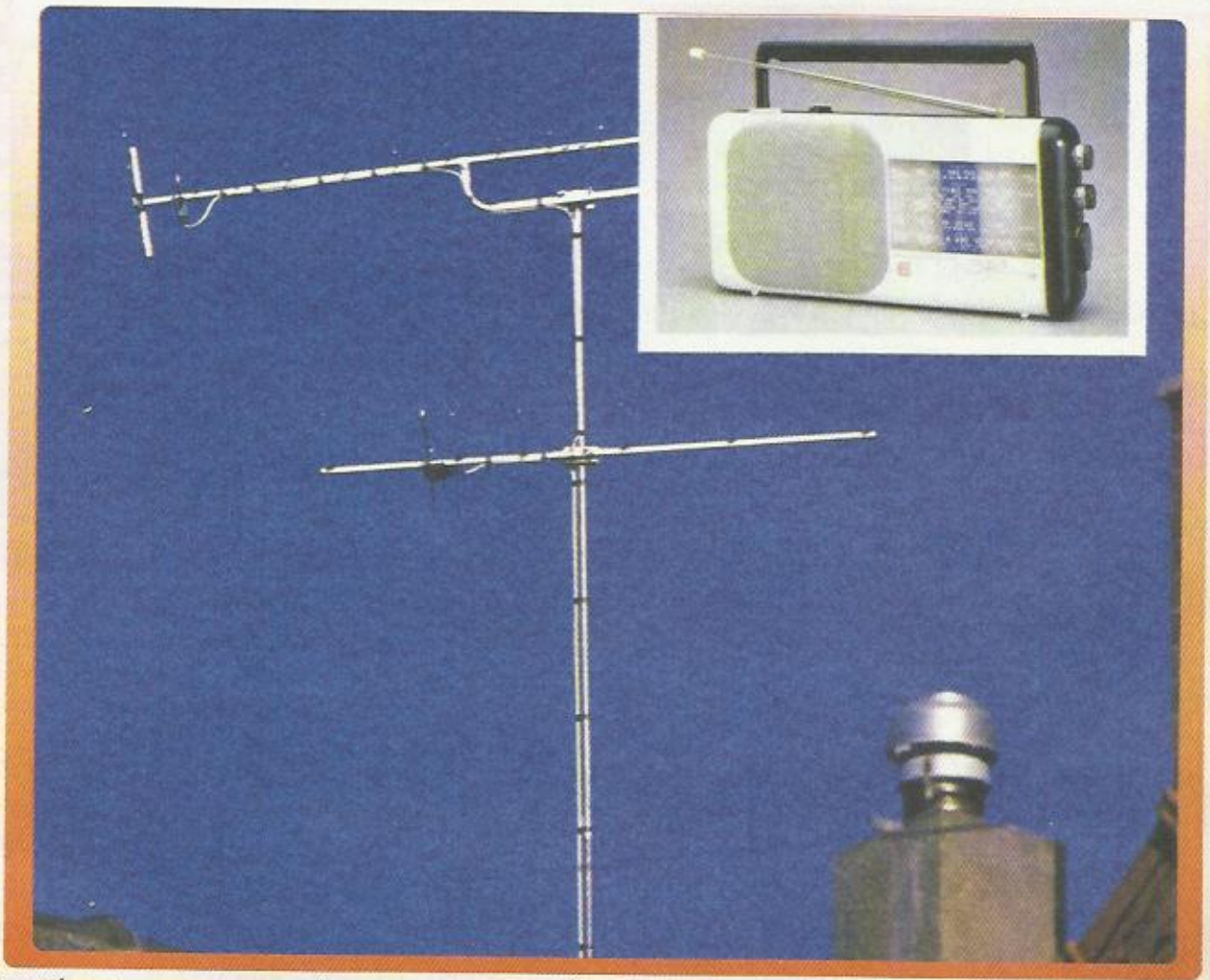
1 - أقرن كل منحنى بنوع التضمين الموافق له مع التعليل.

2 - التعبير العام لتوتر جيبي هو $u(t) = U_m \cos(2\pi . f . t)$. ما المقدار الذي يتغير بدلالة الزمن في كل من تضمين الوسع وتضمين التردد ؟

3 - حدد دور وتردد الإشارة المضمّنة في الشكل 1.

12 تضمين الوسع

La modulation d'amplitude



يعتمد اشتغال جهاز يمكن من استقبال بث إذاعي على مبدأ تضمين الوسع. فما مبدأ تضمين الوسع؟ وما مبدأ إزالة تضمين الوسع؟ وكيف يمكن استغلاله في إنجاز تركيب جهاز الاستقبال الراديو AM (Amplitude Modulation)؟

الأهداف

- تعرُّف مختلف مراحل تضمين الوسع ؛
- تعرُّف دور مختلف المرشِّحات ؛
- تعرُّف مراحل إزالة التضمين ؛
- تعرُّف شروط الحصول على تضمين جيد للوسع ؛
- تعرف شروط الحصول على إزالة جيدة لتضمين الوسع؛
- تعرُّف دور الدارة المتوازية LC ؛
- إنجاز جهاز استقبال الراديو AM.

النشاط 1 | تضمين الوسع | نشاط تجريبي

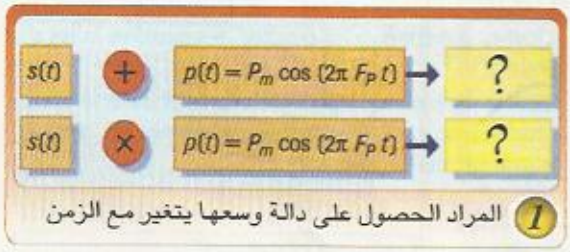
كيف ينجز تجريبيا تضمين الوسع؟ وما شروط الحصول على تضمين جيد؟

العدة التجريبية : مولدان للتردد المنخفض GBF، دارة كهربائية متكاملة AD 633 ، تغذية مستمرة مثبتة ومتماثلة (-15V;0V;+15V) راسم التذبذب رقمي وحاسوب مزود ببرنم ملائم، أسلاك الربط.

تنبيه : لتفادي إتلاف الدارة المتكاملة يجب :
البدء بتغذيتها قبل تطبيق توتري الدخول E_1 وE_2 وفصل تغذيتها في آخر مرحلة، أي عند فك التركيب بعد الإنتهاء من المناولة.

المناولة 1 : الدارة المتكاملة المنجزة للجداء AD 633

- نعتبر دالتين $s(t)$ و $p(t)$ حيث تمثل $s(t)$ الإشارة التي تضم المعلومة و$p(t) = P_m.\cos(2\pi.F_p.t)$ الموجة الحاملة.
- نقوم بعملية الجمع $s(t)+p(t)$ وبعملية الجداء $s(t).p(t)$ كما يبين الشكل 1.

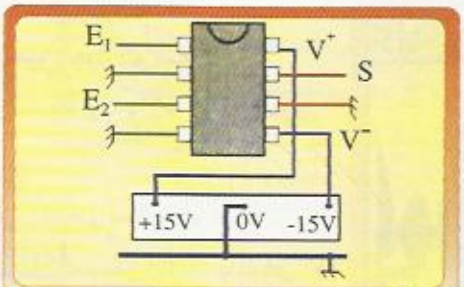


1 المراد الحصول على دالة وسعها يتغير مع الزمن

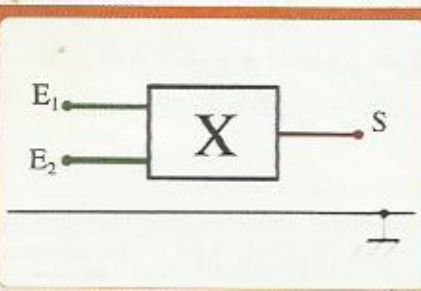
استثمار :

1. تحقق أن عملية الجداء تمكن من الحصول على دالة $u(t)$ ذات وسع يتغير مع الزمن $u(t) = U_m(t).\cos(2\pi.F_p.t)$.
ما اسم هذه العملية ؟
2. تقوم الدارة الكهربائية المتكاملة AD 633 بإنجاز جداء دالتين، وهي عبارة عن علبة سوداء تسمى بقة إلكترونية، تتوفر على ثمانية مرابط، يتم التعرف عليها بواسطة علامة توجد أعلى الدارة وتدعى علامة الترقيم (الشكل2).

2 الدارة المتكاملة AD 633



3 مرابطها



4 رمزها

نأخذ الدارة المتكاملة AD 633 بحيث تكون علامة الترقيم إلى أعلى، ونرقم المرابط الثمانية من الرقم 1 إلى الرقم 8 ، في المنحى المعاكس لعقارب الساعة.

1.2- حدد أرقام المرابط التالية : المدخلان E_1 و E_2، المدخل الذي يجب ربطه بتغذية سالبة 15 V-، والمدخل الذي يجب ربطه بتغذية موجبة 15 V+ والمخرج S.

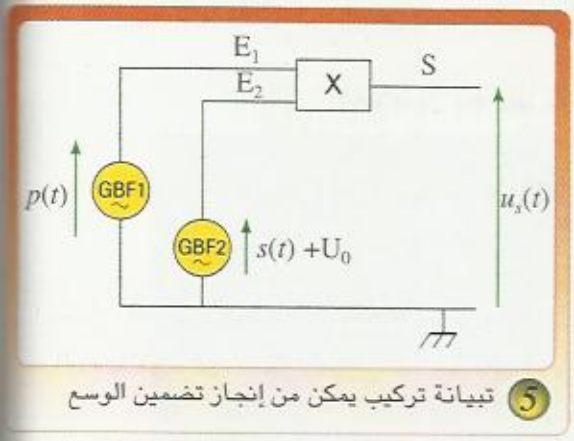
2.2- كيف يجب ربط المرابط 2 و4 و6 ؟

sortie	مخرج	logiciel	برنم	produit	جداء	circuit intégré	دارة متكاملة

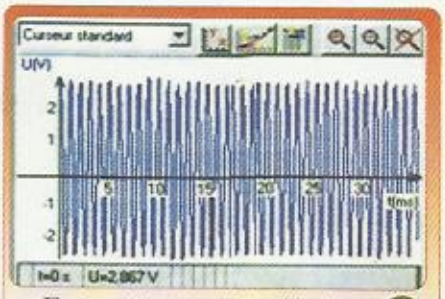
أنشطة

المناولة 2 : إنجاز تضمين الوسع

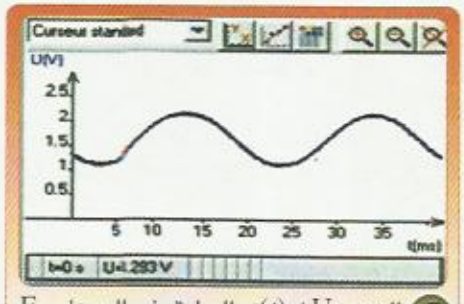
- ننجز التركيب التجريبي جانبه حيث يطبق مولد التردد المنخفض GBF_2 على المدخل E_2 للدارة المتكاملة المنجزة للجداء توتر $s(t)+U_0$.
$s(t)$ إشارة جيبية ضبط وسعها على القيمة $S_m = 2V$ ، وترددها على القيمة $f_s = 100Hz$ و U_0 توتر مستمر ضبط بواسطة GBF_2 على القيمة $U_0 = 3V > S_m$.
- نطبق في المدخل E_1، بواسطة GBF_1 توتر جيبي $p(t)$ وسعه $P_m = 4V$ وتردده $F_P = 1,2\ kHz$ ($F_P > 10f_s$) .
- نعاين على شاشة راسم التذبذب توتر الخروج $u_s(t)$.



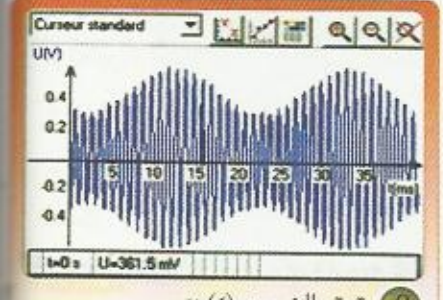
5 تبيانة تركيب يمكن من إنجاز تضمين الوسع



6 التوتر $p(t)$ المطبق في المدخل E_1



7 التوتر $s(t)+U_0$ المطبق في المدخل E_2



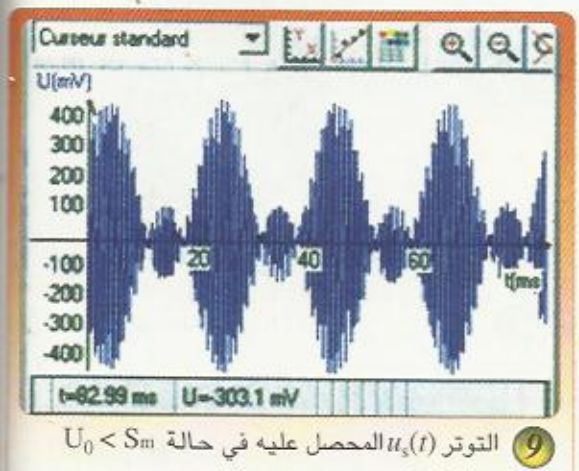
8 توتر الخروج $u_s(t)$

استثمار :

1. صف التوتر $u_s(t)$ المحصّل عند المخرج .
2. قارن غلاف التوتر $u_s(t)$ مع الإشارة التي تضم المعلومة $s(t)$.
3. ما التوتر الحامل؟ و ما التوتر المضمّن ؟

المناولة 3 : شروط الحصول على تضمين جيد للوسع

- نحتفظ بالتركيب الكهربائي السابق ونضبط U_0 و S_m بحيث تكون $U_0 < S_m$.
- نشاهد على شاشة راسم التذبذب التوتر $u_s(t)$ (الشكل9).
- نربط التوتر المضمّن بالمدخل X والتوتر المضمّن $u_s(t)$ بالمدخل Y لراسم التذبذب، ونضبط زر الكسح على النظام XY. يمثل الشكل 10 نموذجا للرسم التذبذبي المحصل عليه.



9 التوتر $u_s(t)$ المحصل عليه في حالة $U_0 < S_m$

استثمار :

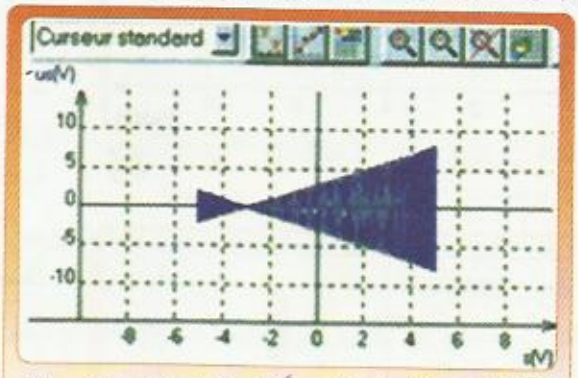
1. قارن غلاف التوتر $u_s(t)$ مع الإشارة $s(t)$. هل تضمين الوسع في هذه الحالة جيد؟
2. هل شكل الرسم التذبذبي المحصّل ، عند ضبط زر الكسح لراسم التذبذب على النظام XY، له شكل شبه المنحرف؟
3. نعيد التجربة بعد ضبط U_0 و S_m حيث $U_0 > S_m$.

balayage	كسح	trapèze	شبه منحرف	mode	نظام	qualité	جودة

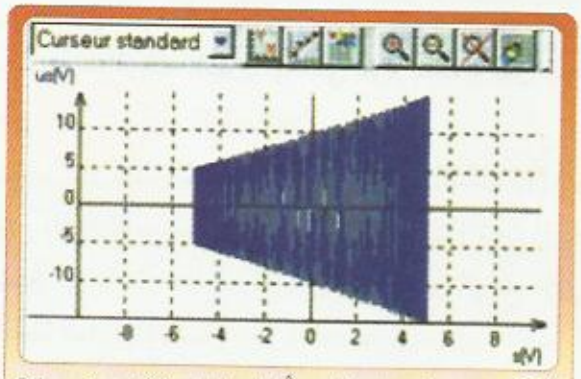
1.3 - هل تضمين الوسع في هذه الحالة جيد ؟ علل إجابتك.

2.3 - تأكد من الحصول على رسم تذبذبي ذي شكل شبه المنحرف، عند ضبط زر الكسح لراسم التذبذب على النظام XY.

4 نحتفظ بـ $U_0 > S_m$ ونغير قيم التردددين F_p و f_s. باستعمال طريقة شبه المنحرف، تحقق من أن تضمين الوسع يكون ذا جودة عالية إذا كان التردد F_p أكبر بكثير من f_s.



10 الرسم التذبذبي المحصّل في غياب الكسح في حالة $U_0 < S_m$



11 الرسم التذبذبي المحصّل في غياب الكسح في حالة $U_0 > S_m$

النشاط 2 إزالة التضمين — نشاط تجريبي

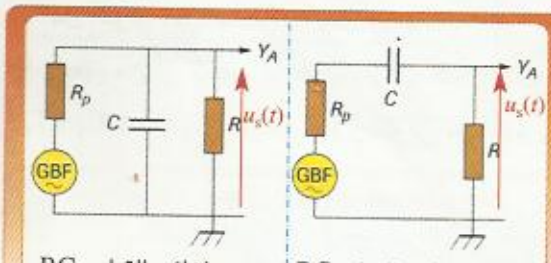
TP أ ن

كيف يتم استرجاع الإشارة المضمّنة التي تضم المعلومة بأقل تشويه ممكن؟

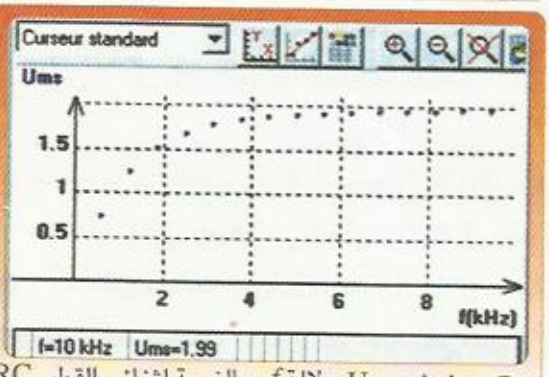
العدة التجريبية : مولدان للتردد المنخفض، دارة كهربائية متكاملة AD 633 ، راسم التذبذب رقمي وحاسوب مزود ببرنم ملائم، موصلان أوميان $R_p = 1k\Omega$ (للوقاية) و $R = 220\Omega$ ، مكثف سعته $C = 0,47\mu F$ ، صمام ثنائي، أسلاك الربط.

المناولة 1 : مرشحات كهربائية للترددات

- ننجز التركيبين الكهربائيين جانبه.
- نضبط مولد التردد المنخفض، على توتر جيبي وسعه $U_m = 2V$ ثابت.
- نغير التردد f من القيمة 100 Hz إلى 10kHz وفي كل مرة نقيس بواسطة راسم التذبذب الوسع U_{ms} لتوتر الخروج u_s ، بالنسبة لكل تركيب.
- ندون النتائج في جدول ونخط بالنسبة لكل تركيب المنحنى الممثل لتغيرات الوسع U_{ms} بدلالة التردد f.



12 تبيانتا التركيبين التجريبيين



13 منحنى U_{ms} بدلالة f، بالنسبة لثنائي القطب RC المتوالي

استثمار :

1 يمثل الشكلان 13 و 14 ، المنحنيين المحصّلين في هذه المناولة.
حدد بالنسبة لكل منحنى :
قيمة الوسع U_{ms} عند الترددات العالية

2 نسمي مرشح ممرر للإشارات ذات الترددات المنخفضة (filtre passe - bas) الدارة الكهربائية التي تسمح بمرور إشارات ذات ترددات منخفضة، ونسمي مرشح ممرر للترددات العالية (filtre passe - haut) الدارة الكهربائية التي تسمح بمرور إشارات ذات ترددات عالية.

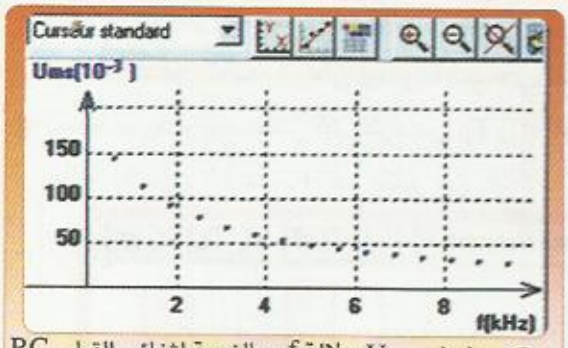
تشويه	distorsion	إزالة التضمين	démodulation	مرشح	filtre	صمام ثنائي	diode

تَعرَّف على ثنائي القطب RC الذي يلعب دور مرشح ممرر للترددات المنخفضة، وعلى ثنائي القطب RC الذي يلعب دور مرشح ممرر للترددات العالية.

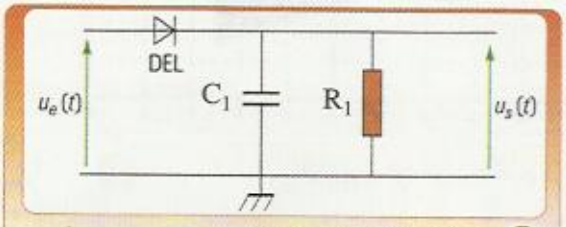
يقوم مرشح الترددات العالية بدور آخر وهو منع مرور التوترات المستمرة، ما المركبة الكهربائية التي تقوم بذلك ؟ علل إجابتك .

المناولة 2 : دارة كشف الغلاف

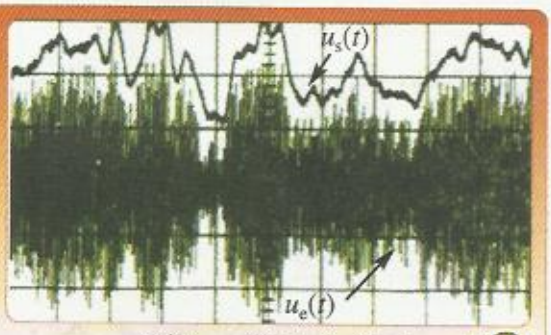
- ننجز التركيب الكهربائي (الممثل في الشكل 15)، وهو عبارة عن رباعي قطب مكون من صمام ثنائي ودارة متوازية RC.
- نطبق في مدخل هذا التركيب توترا مضمَّن الوسع $u_e(t)$ ، محصَّلا بواسطة الدارة المتكاملة المنجزة للجداء.
- نعاين بواسطة راسم التذبذب توتر الدخول $u_e(t)$ وتوتر الخروج $u_s(t)$. يمثل الشكل 16 الرسمين التذبذبين المحصّلين بواسطة إشارة كهربائية ناتجة عن رسالة صوتية.



14 منحنى U_{ms} بدلالة f ، بالنسبة لثنائي القطب RC المتوازي



15 تبيانة دارة كاشف الغلاف



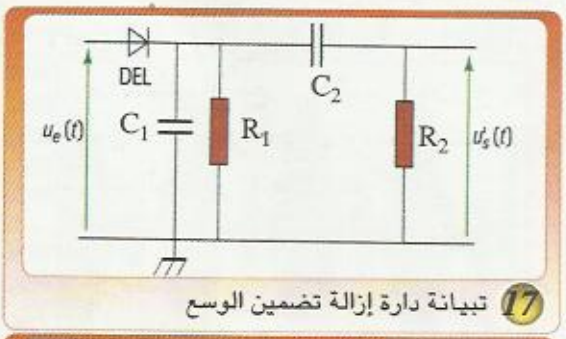
16 الرسمان التذبذبيان $u_e(t)$ و $u_s(t)$

استثمار :

1. قارن بين التوتر $u_s(t)$ وغلاف التوتر المضمَّن $u_e(t)$.
هل التوتر $u_s(t)$ متناوب؟ علّل الإجابة.
2. تحقق من أن كشف غلاف التوتر المضمَّن $u_e(t)$ يتم بكيفية جيدة، إذا كان $T_S < R_1C_1 << T_P$ ، حيث T_P دور التوتر الحامل و T_S دور الإشارة المضمّنة.

المناولة 3 : إنجاز إزالة تضمين الوسع

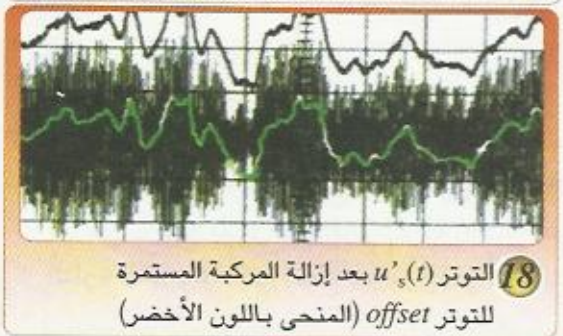
- نضيف للتركيب التجريبي السابق ثنائي القطب R_2C_2 (الشكل 17).
- نعاين بواسطة راسم التذبذب توتر الدخول $u_e(t)$ وتوتر الخروج $u'_s(t)$.



17 تبيانة دارة إزالة تضمين الوسع

استثمار :

1. ماسم ثنائي القطب R_2C_2 المستعمل؟ هل التوتر $u'_s(t)$ المحصَّل متناوب؟
ما الدور الذي يلعبه ثنائي القطب R_2C_2 في هذه التجربة؟
2. أ ـ أذكر مختلف المراحل المنجزة خلال عملية إزالة تضمين الوسع.
3. ب ـ أرسم تبيانة توضيحية تبين هذه المراحل.


18 التوتر $u'_s(t)$ بعد إزالة المركبة المستمرة للتوتر *offset* (المنحى باللون الأخضر)

enveloppe	غلاف	détecteur	كاشف	passe - haut	ممرر الترددات العالية	passe - bas	ممرر الترددات المنخفضة

النشاط 3 — إنجاز جهاز مستقبل الراديو — نشاط تجريبي

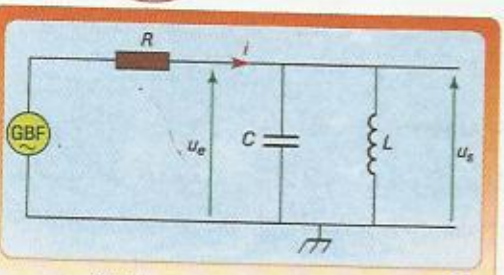
ماهي المكونات الأساسية التي تدخل في تركيب جهاز مستقبل بسيط يمكن من التقاط بث إذاعي بتضمين الوسع؟

العدة التجريبية : وشيعات، مكثفات، موصلات أومية، صمام ثنائي، مضخم عملياتي، تغذية مستمرة متماثلة(+15V,-15V) سلك (هوائي)، مكبر الصوت، مولد التردد المنخفض، راسم التذبذب رقمي، أسلاك الربط.

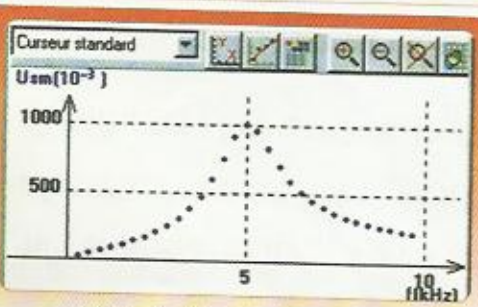
TP أ ت

المناولة 1 : الدارة المتوازية LC مرشح ممرر للمنطقة

- ننجز التركيب الكهربائي جانبه حيث يطبق مولد التردد المنخفض توترا جيبيا وسعه 1V ثابت.
- نغير التردد f لمولد GBF، وفي كل مرة نقيس بواسطة راسم التذبذب الوسع U_{ms} لتوتر الخروج $u_s(t)$.
- ندون النتائج في جدول، ونخط المنحنى الممثل لتغيرات U_{ms} بدلالة التردد f (الشكل 20).



19 تبيانة تركيب الدارة المتوازية LC



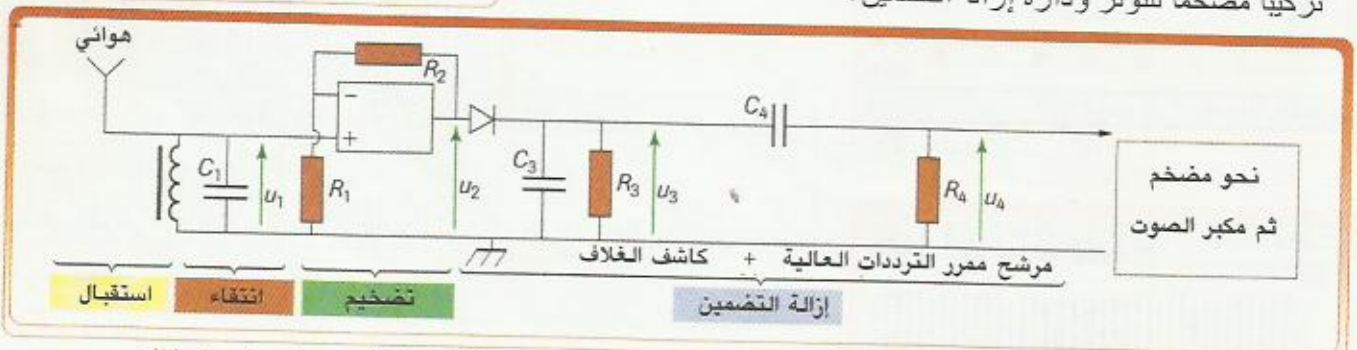
20 منحى استجابة الدارة المتوازية LC

استثمار :

1. صف منحنى الإستجابة U_{ms} بدلالة f المحصّل.
2. علل لماذا تسمى الدارة المتوازية LC مرشحا ممررا للمنطقة.
3. حدد مبيانيا التردد الموافق للقيمة القصوى للوسع U_{ms}، ثم قارنه مع $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. كيف يمكن انتقاء إشارة ذات تردد معين f_0؟

المناولة 2 : إنجاز راديو بسيط AM

- نعوض في التركيب الكهربائي السابق مولد التردد المنخفض، بهوائي للإستقبال ونستعمل وشيعة معامل تحريضها الذاتي L قابل للضبط. نضيف تركيبا مضخما للتوتر ودارة إزالة التضمين.



- ننجز التركيب التجريبي المبين على التبيانة أعلاه، ونغير معامل التحريض الذاتي L للحصول على بث إذاعي.
- نعاين بواسطة راسم التذبذب التوترات u_1 و u_2 و u_3 و u_4 ، خلال اشتغال التركيب.

استثمار :

1. تسمى الدارة المتوازية LC ، دارة التوافق. مامجال الترددات الممكن كسحه بواسطة هذه الدارة؟
2. قارن بين التوترات الملاحظة واكتب تعليقا حولها.
3. تأكد من أن شروط الحصول على إزالة تضمين الوسع قد تحققت.

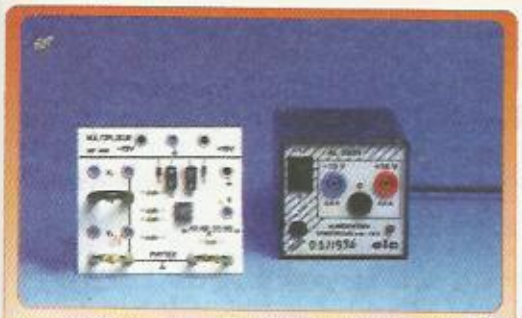
دارة توافق	circuit d'accord	ممرر المنطقة	passe - bande	مضخم	amplificateur	بث إذاعي	émission radio

1 مبدأ تضمين الوسع

1.1 - الإبراز التجريبي

أ - الدارة المتكاملة المنجزة للجداء

لاحظنا في النشاط1 (ص 169)، أنه للحصول على دالة جيبية يتغير وسعها مع الزمن، يستلزم القيام بجداء دالتين: $s(t)$ تمثل الإشارة و $p(t) = P_m.\cos(2\pi.F_p.t)$ تمثل الموجة الحاملة. وهذا ماتقوم به الدارة المتكاملة AD 633 المنجزة للجداء.

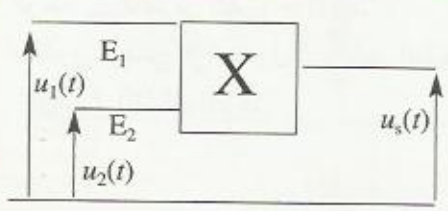


21 الدارة المتكاملة AD 633 وتغذيتها المتماثلة (-15V;+15V)

تمكن الدارة المتكاملة AD 633 من الحصول عند مخرجها S على دالة $u_s(t)$ تتناسب اطرادا مع جداء الدالتين $u_1(t)$ و $u_2(t)$ المطبقتين عند مدخليها E_1 و E_2.

$$u_s(t) = k.u_1(t).u_2(t)$$

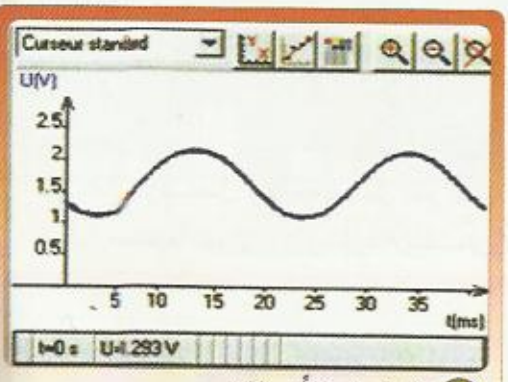
k : ثابتة التناسب وهي تتعلق بالدارة الكهربائية المتكاملة.



22 يعطي المخرج S التوتر $u_s(t) = k.u_1(t).u_2(t)$

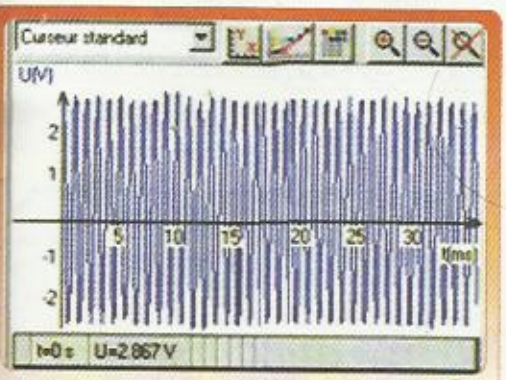
ب - الإبراز التجريبي لتضمين الوسع

من خلال النشاط 1 (المناولة 2ص 170) نعاين التوتر المضمّن $s(t)$ وهو الإشارة التي تضم المعلومة ترددها منخفض (الشكل23)، والتوتر الحامل $p(t)$ تردده عالٍ، (الشكل 24) وفي المخرج S للدارة المتكاملة المنجزة للجداء نحصل على توتر مضمّن الوسع (الشكل 25)، غلافه يتبع تغيرات التوتر المضمّن $s(t)$ الذي اختير جيبيا في هذا النشاط.



23 التوتر المضمّن $s(t)$

التوتر المحصّل عند مخرج الدارة المتكاملة المنجزة للجداء، توتر مضمّن الوسع.
يُضمّن التوتر ذو التردد المنخفض وسع التوتر ذا التردد العالي والذي يسمى التوتر الحامل.



24 التوتر الحامل $p(t)$

2.1 - تعبير التوتر المضمّن

التوتر المطبق عند المدخل E_1 للدارة المتكاملة المنجزة للجداء هو:

$$p(t) = P_m.\cos(2\pi.F_p.t)$$

والتوتر المطبق عند المدخل E_2 هو: $s(t) + U_0$.

مع U_0 المركبة المستمرة للتوتر و $s(t) = S_m.\cos(2\pi.f_S.t)$.

تضمين الوسع	modulation d'amplitude	مدخل	entreé	مخرج	sortie	مركبة	composante

التوتر $u_s(t)$ عند المخرج هو: $u_s(t) = k \times p(t) \times [s(t) + U_0]$

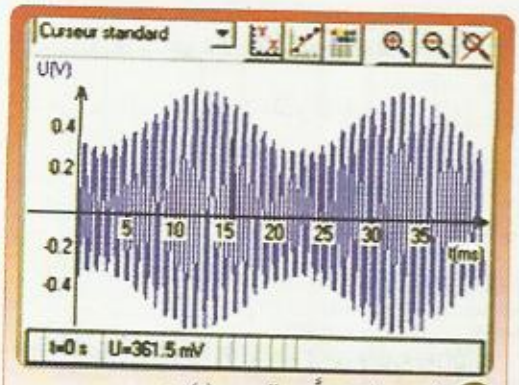
$u_s(t) = k \times P_m \times (s(t) + U_0).\cos(2\pi.F_p.t)$

وبما أن التعبير العام لتوتر مضمَّن الوسع هو:

$u(t) = U_m(t).\cos(2\pi.F_p.t)$ فإن الوسع $U_m(t)$ يكتب كالتالي:

$U_m(t) = k \times P_m \times (s(t) + U_0)$. نضع $a = k \times P_m$ و $b = U_0$

فيصبح الوسع $U_m(t)$ على شكل: $U_m(t) = a(s(t) + b)$.



25 التوتر المضمَّن بالوسع $u_s(t)$

تضمين الوسع هو جعل الوسع المضمَّن $U_m(t)$ عبارة عن دالة تآلفية للتوتر المضمِّن $s(t)$. ويكتب الوسع المضمَّن على شكل $\boxed{U_m(t) = a(s(t) + b)}$.

فهو يعيد إذن تغيرات $s(t)$.

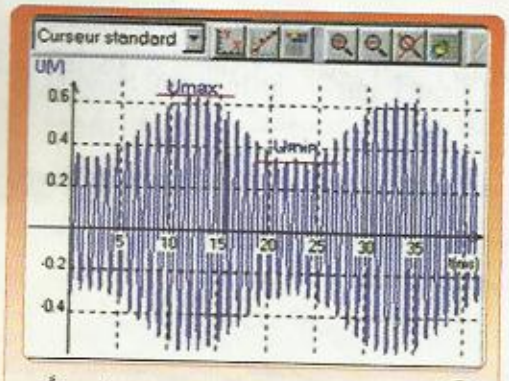
3.1 - حالة توتر مضمِّن جيبي

إذا اعتبرنا أن التوتر المضمِّن دالة جيبية فإن: $s(t) = S_m.\cos(2\pi.f_s.t)$ ويصبح الوسع المضمَّن $U_m(t)$ كالتالي:

$$U_m(t) = k.P_m \times \left(S_m \cos(2\pi.f_s.t) + U_0\right)$$

$$U_m(t) = k.P_m.U_0\left[\left(\frac{S_m}{U_0}\right)\cos(2\pi.f_s.t) + 1\right]$$.

نضع $A = k.P_m.U_0$ و $m = \frac{S_m}{U_0}$ ، فنجد: $U_m(t) = A[m.\cos(2\pi.f_s.t) + 1]$.



26 يمكن حساب m من خلال التوتر المضمَّن

إذا كان التوتر المضمِّن دالة جيبية، فإن تعبير وسع التوتر المضمَّن يصبح على شكل: $\boxed{U_m(t) = A[m.\cos(2\pi.f_s.t) + 1]}$ حيث: $m = \frac{S_m}{U_0}$ ،

تسمى m نسبة التضمين.

يتغير الوسع المضمَّن $U_m(t)$ بين قيمتين حديتين:

$U_{mmax} = A[m+1]$ و $U_{mmin} = A[-m+1]$

ويُعبر عن نسبة التضمين بدلالة U_{mmax} و U_{mmin} بالعلاقة:

$\boxed{m = \frac{U_{mmax} - U_{mmin}}{U_{mmax} + U_{mmin}}}$ (الشكل 26).

تمرين تطبيقي

1 - ماقيمة تردد التوتر المضمَّن الممثل في الشكل 26 ؟

2 - حدد نسبة التضمين.

حـل

1 - : $f_s = \frac{1}{20.10^{-3}} = 50\text{Hz}$

2 - : $m = \frac{U_{mmax} - U_{mmin}}{U_{mmax} + U_{mmin}} = \frac{0,64 - 0,36}{0,64 + 0,36} = 0,28$

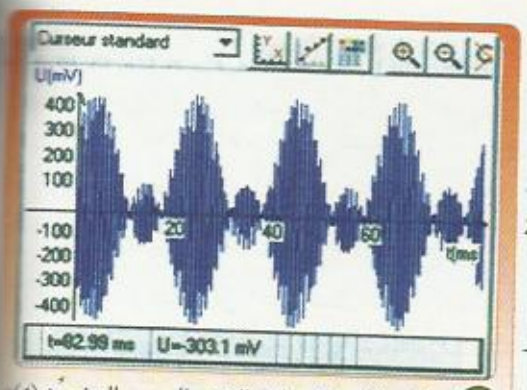
sinusoïdal	جيبي	taux de modulation	نسبة التضمين	affine	تآلفية

4.1 - جودة التضمين

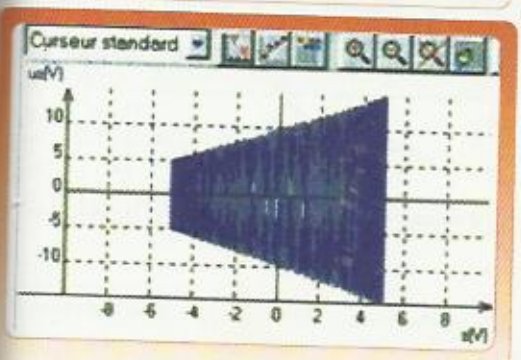
من خلال النشاط 1 المناولة 3 (ص 170) ، نلاحظ أنه:

• إذا كان $U_0 < S_m$ نحصل على توتر مضمّن $u_s(t)$ ، غلافه مخالف للتوتر المضمّن $s(t)$ ولايتبع تغيراته. يكون التضمين في هذه الحالة ذا جودة رديئة (الشكل 27).

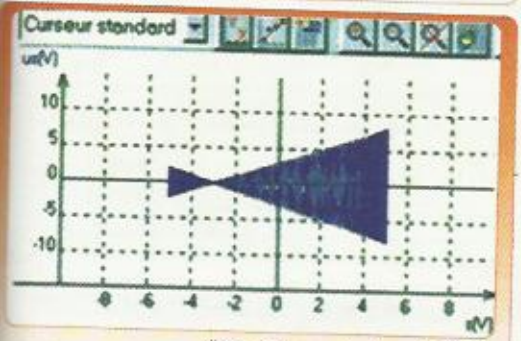
• إذا كان $U_0 > S_m$ نحصل على توتر مضمّن $u_s(t)$، غلافه مطابق للتوتر المضمّن $s(t)$. يكون التضمين، في هذه الحالة جيدا . وعند ربط التوتر المضمّن $s(t)$ بالمدخل X والتوتر المضمّن $u_s(t)$ بالمدخل Y لراسم التذبذب في غياب الكسح (النظام XY) نحصل على شكل شبه المنحرف (الشكل 28).



27 غلاف $u_s(t)$ لايطابق التوتر الجيبي المضمّن $s(t)$



28 تضمين ذو جودة جيدة



29 تضمين ذو جودة رديئة

طريقة شبه المنحرف :

للتأكد من الحصول على تضمين وسع جيد، يجب :

• ربط التوتر المضمّن s(t) بالمدخل X لراسم التذبذب.

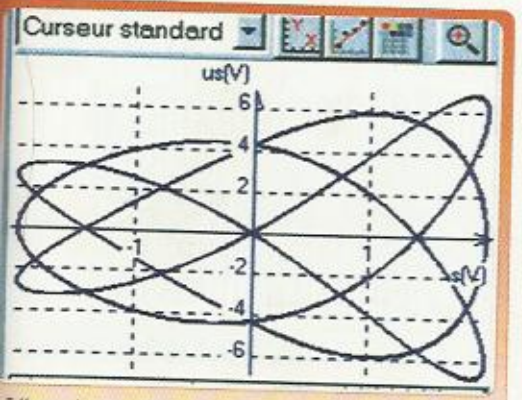
• ربط التوتر المضمّن $u_s(t)$ بالمدخل Y.

• إزالة كسح راسم التذبذب (النظام XY).

فنحصل على شاشة راسم التذبذب على شكل شبه المنحرف.

يؤكد الحصول على شكل شبه المنحرف أن تضمين الوسع جيد.

•إذا كان تردد التوتر الحامل F_P من رتبة قدر تردد التوتر المضمّن f_s فإننا نحصل، في غياب الكسح، على الرسم التذبذبي الممثل في الشكل 30. ويظهر من خلال هذا الشكل ، أننا لم نحصل على شكل شبه المنحرف. الشئ الذي يدل على أن التضمين غير جيد.



30 منحنى محصل بطريقة شبه المنحرف في حالة ($F_P = 10$ kHz و $f_s = 7{,}5$ kHz) لانحصل على شبه المنحرف

شروط الحصول على تضمين جيد:

للحصول على تضمين وسع ذي جودة جيدة يجب أن:

• يكون التوتر U_o أكبر من S_m : $U_o > S_m$

حيث U_o : المركبة المستمرة للتوتر المضمّن.

و S_m : وسع التوتر المضمّن.

أي أن نسبة التضمين m : $m = \frac{S_m}{U_0} < 1$

• يكون تردد التوتر الحامل F_P أكبر بكثير من تردد التوتر المضمّن f_s

$F_p >> f_s$ ، على الأقل $F_p > 10 f_s$.

balayage	كسح	mode	نمط	qualité	جودة	trapèze	شبه المنحرف

2 مبدأ إزالة التضمين

1.2 ـ المرشحات RC

أ ـ المرشح الممرر للترددات المنخفضة

المرشح الممرر للترددات المنخفضة تركيب كهربائي يسمح بمرور إشارات ذات ترددات منخفضة.

مثال: ثنائي القطب المتوازي RC (الشكل 31) (النشاط 2 ص 171).

ب ـ المرشح الممرر للترددات العالية

المرشح الممرر للترددات العالية تركيب كهربائي يسمح بمرور إشارات ذات ترددات عالية.

مثال: ثنائي القطب المتوالي RC (الشكل 32). كما أن هذا المرشح لا يسمح بمرور التوترات المستمرة نظرا لتوفره على مكثف مركب على التوالي (النشاط 2 ص171).

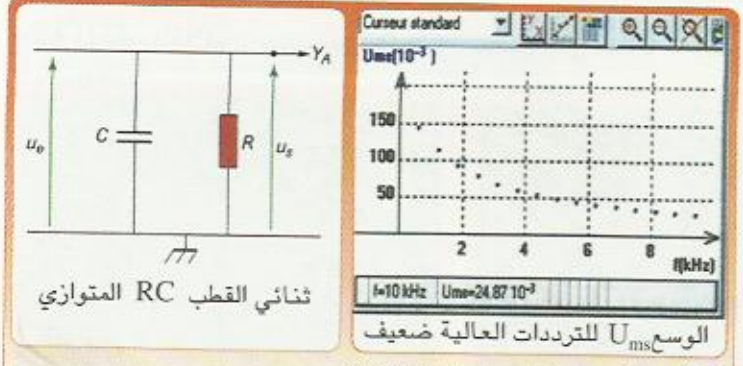
2.2 ـ كاشف الغلاف

أ ـ دارة كاشف الغلاف

إن دارة كاشف الغلاف عبارة عن رباعي قطب مكون من صمام ثنائي ودارة متوازية RC (الشكل33).
ويُمكّن كاشف الغلاف هذا من الحصول على توتر $u_s(t)$ مطابق إلى حد كبير للتوتر المضمّن (الشكل34).

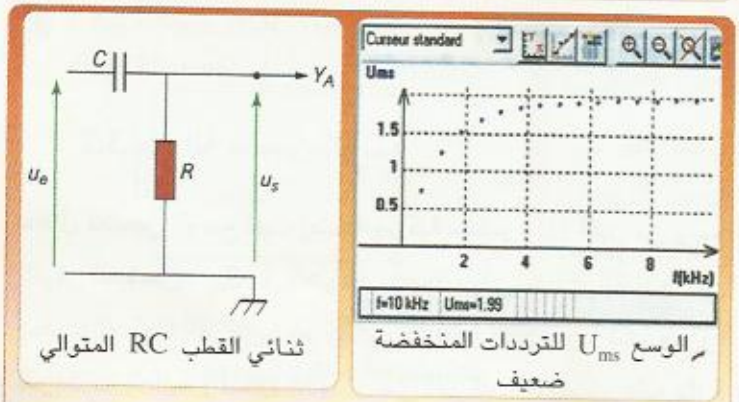
ب ـ شروط الحصول على كشف غلاف جيد

للحصول على كشف غلاف جيد، يجب أن يكون التوتر في مخرج دارة كاشف الغلاف ذا تموجات صغيرة وتتبع بكيفية أحسن شكل الإشارة المضمّنة.
ويتحقق هذا إذا كانت ثابتة الزمن $\tau = RC$ تحقق المتراجحة: $T_p << \tau < T_s$
T_p دور التوتر الحامل و T_s دور الإشارة المضمّنة.



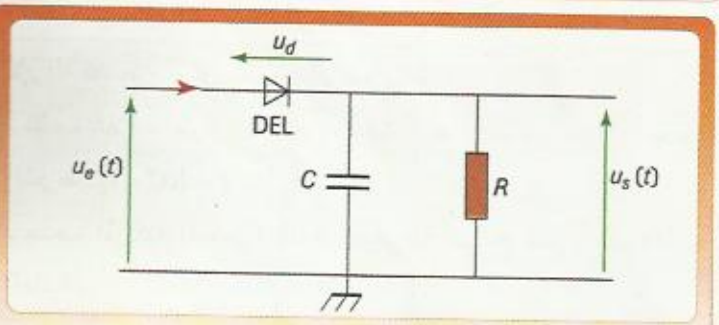
ثنائي القطب RC المتوازي — الوسع U_{ms} للترددات العالية ضعيف

31 مرشح ممرر للترددات المنخفضة



ثنائي القطب RC المتوالي — الوسع U_{ms} للترددات المنخفضة ضعيف

32 مرشح ممرر للترددات العالية

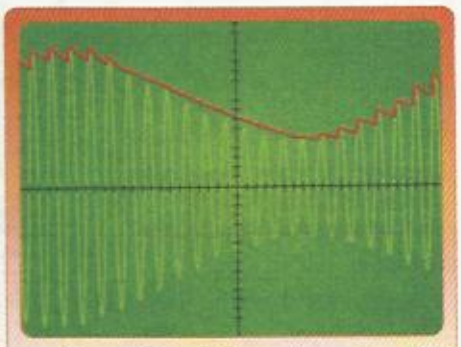


33 دارة كاشف الغلاف

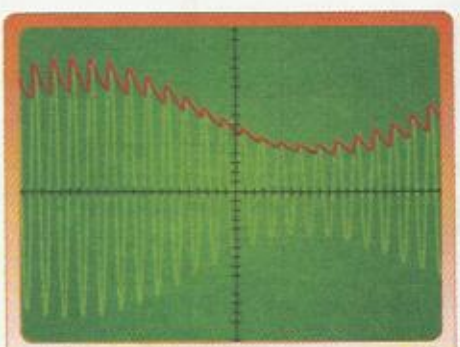
34 التوتر $u_s(t)$ المحصّل عند مخرج رباعي القطب

مرشح ممرر للترددات المنخفضة	filtre passe-bas	مرشح ممرر للترددات العالية	filtre passe-haut	كشف	détection	غلاف	enveloppe

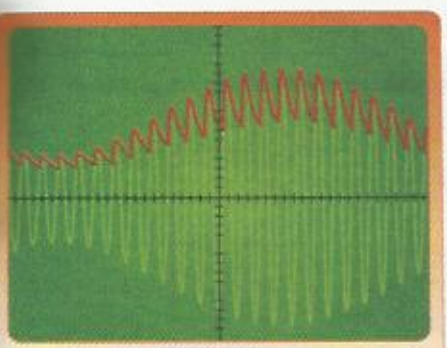
أمثلة لكشف الغلاف : حسب قيم R و C نحصل على كشف غلاف جيد أو رديء.



35 τ كبيرة، التوتر $u_s(t)$ لايتبع شكل الإشارة المضمّنة



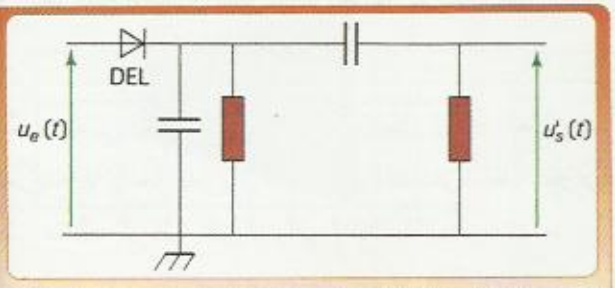
36 كشف غلاف جيد، إزالة التضمين جيدة



37 τ صغيرة، يفرغ المكثف بسرعة بين قمتين متتاليتين

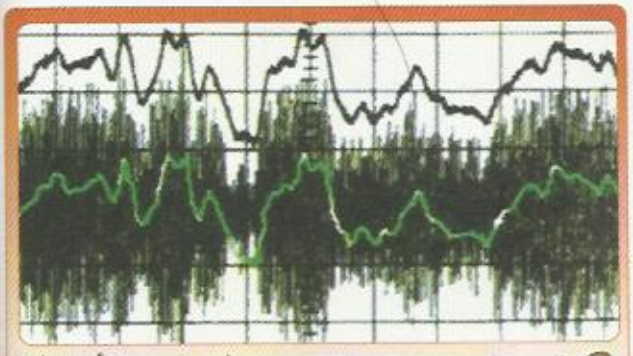
3.2 - إزالة تضمين الوسع

خلال تضمين الوسع تمت إضافة مركبة مستمرة U_0 أكبر من وسع التوتر المضمّن S_m $(U_0 > S_m)$. يجب إذن عند إزالة التضمين حذف U_0. لهذا الغرض، نضيف إلى كاشف الغلاف مرشحا ممررا للترددات العالية (الشكل 38). يسمى التركيب المحصّل عليه **دارة إزالة التضمين**.



38 تبيانة دارة إزالة التضمين

لإزالة تضمين توتر مضمّن الوسع يجب :
- كشف غلاف التوتر المضمّن، ويكون هذا الكشف جيدا إذا تحقق الشرط: $T_p << \tau = RC < T_s$.
- حذف المركبة المستمرة للتوتر بواسطة مرشح ممرر للترددات العالية.

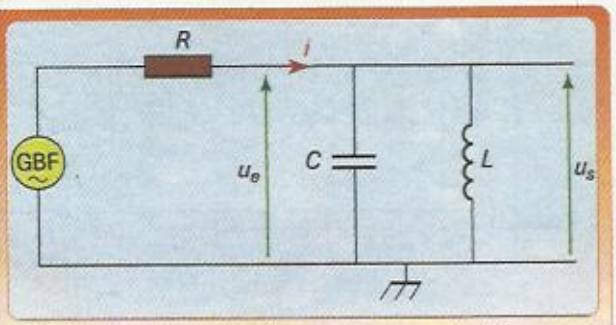


39 التوتر المحصل بعد إزالة التضمين (المنحنى بالأخضر)

3 إنجاز جهاز يستقبل بث إذاعي بتضمين الوسع

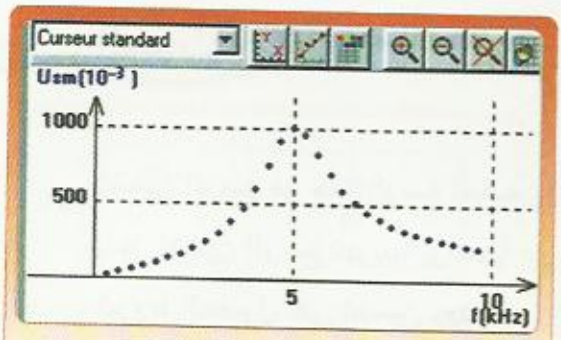
1.3 - دراسة الدارة المتوازية LC

تبين الدراسة التجريبية (النشاط 3 ص173) أن الدارة المتوازية LC مرشح ممرر للمنطقة، بحيث تسمح بمرور إشارات ذات ترددات تنتمي لمنطقة ممركزة حول التردد الخاص $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ للدارة المتوازية LC .

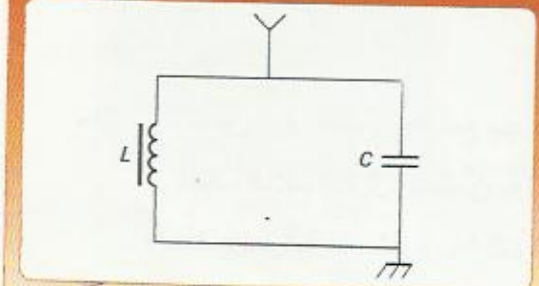


40 تبيانة تركيب دارة متوازية LC

41 مبدأ اشتغال مرشح ممرر للمنطقة



42 منحنى رنين التوتر لدارة متوازية LC



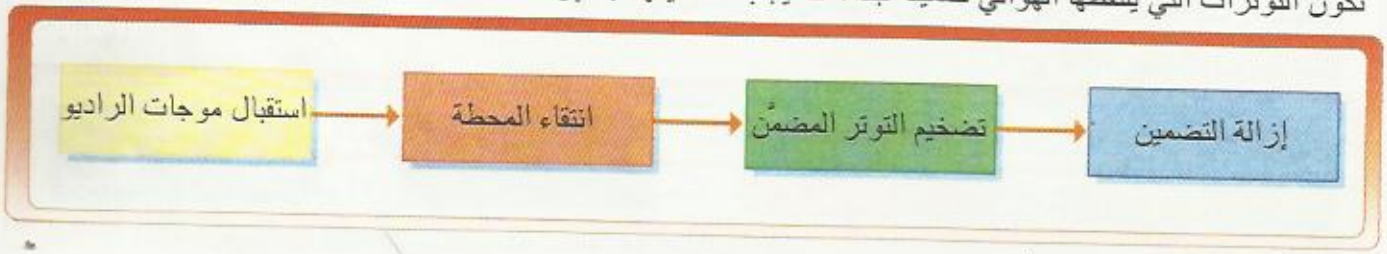
43 تنتقي الدارة المتوازية LC تردد المحطة المراد التقاطها (دارة التوافق)

ملحوظة :

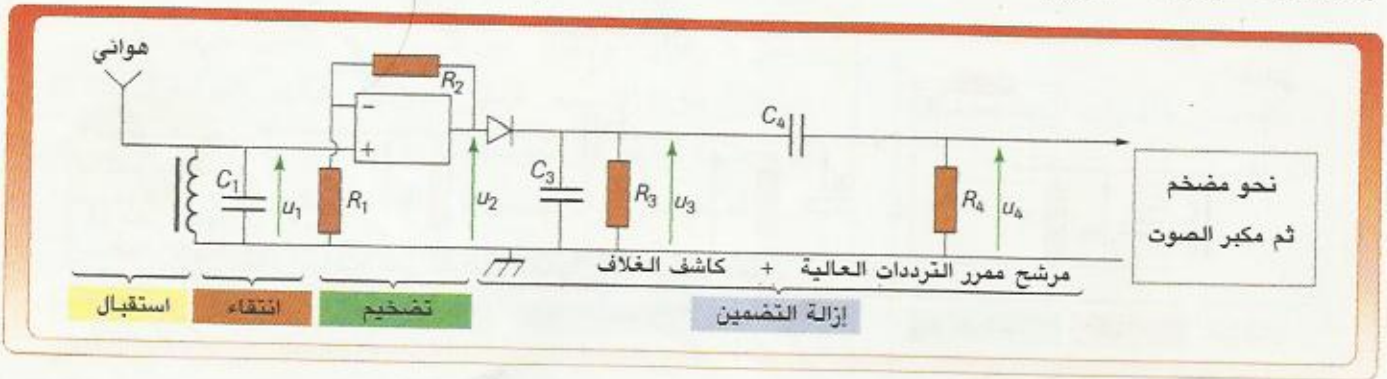
عند ربط الدارة المتوازية LC بهوائي مستقبل للموجات الكهرمغنطيسية التي ترسلها المحطات الإذاعية، ينشأ توتر كهربائي في هذا الهوائي. ولإنتقاء إرسال واحد أو محطة واحدة يلزم التوفيق بين التردد الخاص f_0 للدارة المتوازية LC وتردد الموجة المنبعثة من المحطة، ويتم ذلك بضبط معامل التحريض الذاتي L ، أو سعة المكثف C.

2.3 - إنجاز جهاز مستقبل راديو بسيط

تكون التوترات التي يلتقطها الهوائي ضعيفة جدا، لذا يجب تضخيمها قبل إزالة تضمينها. وتمثل التبيانة أسفله مبدأ الراديو.



وتبين تبيانة التركيب التجريبي أسفله :



أن المستقبل " الراديو AM " يتكون من :

- هوائي يلتقط موجات الراديو ؛
- ثنائي قطب LC ينتقي المحطة المرغوب فيها ؛
- مضخم للتوتر المضمّن المنتقى ؛
- دارة إزالة تضمين الوسع تسمح باسترجاع الإشارة المضمّنة، وهي مكونة من دارة كاشف الغلاف و مرشح ممرر للترددات العالية.

الحصيلة

تضمين الوسع

- تضمين الوسع هو جعل الوسع المضمَّن $U_m(t)$ عبارة عن دالة تآلفية للتوتر المضمِّن $s(t)$.
- ينجز تضمين الوسع تجريبيا بواسطة دارة متكاملة منجزة للجداء .
- شروط الحصول على تضمين جيد:
  - $U_0 > S_m$ أي : نسبة التضمين m $\left(m = \frac{S_m}{U_0} < 1\right)$.
  - تردد التوتر الحامل F_P أكبر بكثير من التردد f_s للإشارة المضمِّنة : $F_p >> f_s$.

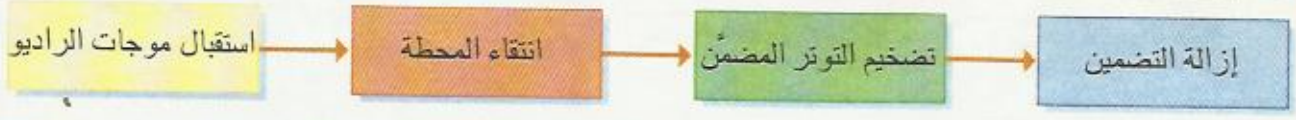
إزالة التضمين

- لإزالة تضمين توتر مضمَّن الوسع يجب :
  - كشف غلاف التوتر المضمَّن بواسطة صمام ثنائي ودارة RC متوازية .
  - حذف المركبة المستمرة U_0 للتوتر بواسطة مرشح ممرر للترددات العالية .
- للحصول على إزالة تضمين جيدة يجب تحقيق الشرط: $T_p << \tau = RC < T_s$.

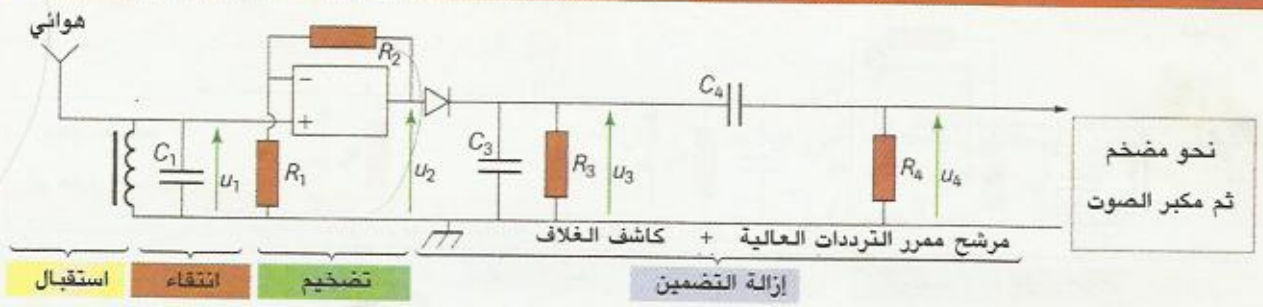
T_P دور التوتر الحامل و T_S دور الإشارة المضمِّنة .

إنجاز مستقبل راديو AM

- المبدأ :



- تبيانة التركيب التجريبي :

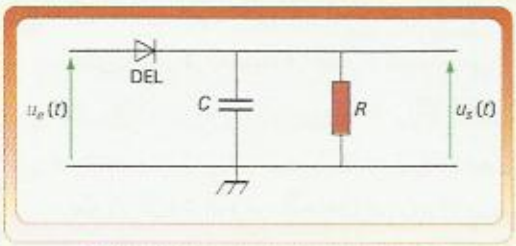


يتكون راديو AM من :

- هوائي ؛
- ثنائي قطب LC ؛
- مضخم للتوتر المضمَّن ؛
- دارة إزالة التضمين .

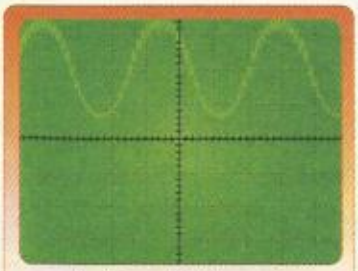
تمرين محلـول

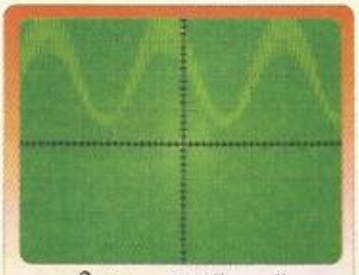
التعرف على إزالة جيدة للتضمين

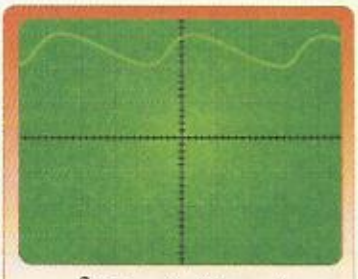


نطبق في مدخل تركيب كاشف الغلاف الممثل جانبه توترا مضمّن الوسع تعبيره : $u_e(t) = A[0,6\cos(2500\pi t)+1]\cos(2\pi \times 10^5 t)$

نشاهد على شاشة راسم التذبذبات، حسب قيم R و C التوترات $u_s(t)$ أسفله باستعمال نفس الحساسية الأفقية: 0,2ms/div ونفس الحساسية الرأسية 1V/div


الرسم التذبذبي رقم 1


الرسم التذبذبي رقم 2


الرسم التذبذبي رقم 3

1- بين أن توتر الدخول $u_e(t)$ توتر مضمّن بجودة جيدة.

2- لماذا يتوفر التوتر المزال التضمين $u_s(t)$ على تموجات؟

3- ما شرط الحصول على إزالة تضمين جيدة ؟

4- حدد الرسم التذبذبي الموافق للتوتر $u_s(t)$ المحصل بإزالة تضمين جيدة.

5- ما عيوب المنحنيين الآخرين ؟

إرشادات

1 - استحضار تعبير التوتر المضمّن الوسع.

2 - استحضار خاصيات المكثف: الشحن والتفريغ.

3 - لايجب الخلط بين شرطي التضمين الجيد وشرط إزالة التضمين الجيدة.

حـل

1 - شرطا التضمين الجيد هي: $m<1$ و $F_p >> f_s$

بتطابق $u_e(t)$ مع التعبير العام $u_e(t) = A[m\cos(2\pi f_s t)+1]\cos(2\pi F_p t)$

نجد : $m = 0,6$ و $F_p = 1,0.10^5 Hz$ و $f_s = 1250Hz$

يتحقق الشرطان، وبالتالي فإن التوتر $u_e(t)$ مضمّن بجودة جيدة.

2 - يفرغ جزئيا المكثف بين قيمتين قصويتين متتاليتين للموجة الحاملة لذا يتوفر التوتر $u_s(t)$ على تموجات.

3 - للحصول على إزالة تضمين جيدة يجب أن تكون: $T_p << \tau < T_s$ حيث:

$\tau = RC$ ثابتة الزمن و T_p دور الموجة الحاملة و T_s دور التوتر المضمّن.

4 - الرسم التذبذبي رقم 1 هو المحصل بإزالة تضمين جيدة لأن التموجات صغيرة وتتبع بكيفية أحسن شكل الإشارة المضمّنة. في هذه الحالة تحقق العلاقة : $\tau = RC$ $1,0.10^{-5} s << \tau < 8,0.10^{-4} s$

5 - بالنسبة للرسم التذبذبي رقم 2 ؛ ثابتة الزمن RC صغيرة جدا: المكثف يفرغ بسرعة كبيرة جدا.

بالنسبة للرسم التذبذبي رقم 3 ثابتة الزمن RC كبيرة جدا: تفريغ المكثف بطيء جدا لايواكب تغيرات التوتر المضمّن.

تمارين لاختبار المعارف

1 أنقل النص على دفترك واملإ الفراغ :

- تمكن الدارة المتكاملة المنجزة للجداء من الحصول على توتر يتناسب مع ..... التوترين المطبقين عند مدخليها.
- يكون تردد التوتر الحامل ..... بينما يكون تردد التوتر المضمّن .....
- تسمى الدارة التي تسمح بمرور توترات ترددها مرتفع .....
- يمثل رباعي القطب المتكون من صمام ثنائي ودارة متوازية RC، دارة .....
- تستعمل الدارة المتوازية LC كمرشح ممرر ..... ، حيث ينتقي الموجة المضمّنة الوسع ذات تردد يساوي التردد ..... للدارة LC .

2 أجب بصحيح أو خطأ :

أ - تؤثر قيمة المركبة المستمرة U_0 للتوتر على جودة تضمين الوسع.

ب - تحذف U_0 عند إزالة التضمين بواسطة مرشح ممرر للترددات المنخفضة.

ج - نسبة التضمين m هي :

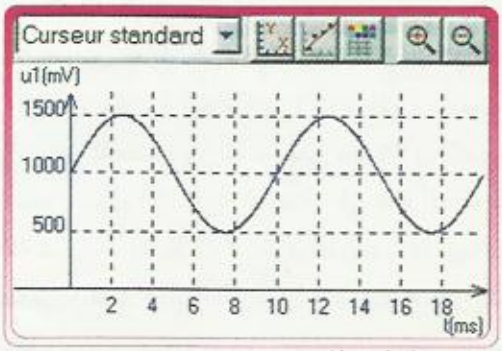
$m = \frac{U_0}{S_m}$ ؛ $m = \frac{S_m}{U_0}$ ، $m = S_m + U_0$.

S_m : وسع الإشارة المضمّنة.

تمارين تطبيقية

3 توتر جيبي بمركبة مستمرة.

نعتبر التوتر $u(t)$ الممثل في الشكل أسفله :



1 - عين مبيانيا : - الدور T.

- التوتر الأقصى U_m.
- القيمة المتوسطة للتوتر.

2 - أكتب تعبير التوتر $u(t)$.

أجوبة : 1 - $T = 10ms$ ؛ $U_m = 0,5V$ ؛ $U_0 = 1V$.

2 - $u(t) = 1 + 0,5\cos\left(200\pi t - \frac{\pi}{2}\right)$

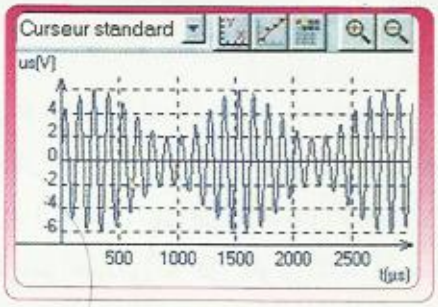
4 رتب المستطيلات التالية للحصول على مبدأ اشتغال مستقبل "راديو AM".

إزالة تضمين	انتقاء	استقبال	تضخيم

5 نسبة التضمين :

نعتبر توتر $u_s(t)$ مضمّن الوسع تعبيره :

$u_s(t) = A[m\cos(2\pi.f.t) + 1]\cos(2\pi.F.t)$ حيث m: نسبة التضمين. يمثل الشكل أسفله تغيرات $u_s(t)$ بدلالة الزمن.



1 - عين مبيانيا:

أ - F تردد الموجة الحاملة وf تردد الإشارة المضمّنة.

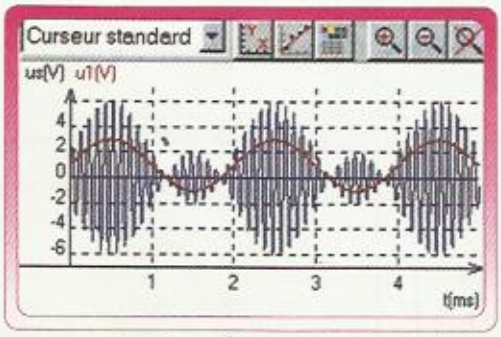
ب - وسع الإشارة المضمّنة S_m وقيمة المركبة المستمرة U_0 للتوتر .

2 - استنتج قيمة m وقيمة الثابتة A.

أجوبة : 1 - $F = 8kHz$ ؛ $f = 800Hz$ ؛ $S_m = 2V$ ؛ $U_0 = 4V$.

2 - $m = 0,5$ ؛ $A = 4V$.

6 ظاهرة التضمين :يمثل الشكل أسفله تغيرات توتر $u_s(t)$ مضمّن الوسع، بدلالة الزمن :



1 - يمثل المنحنى باللون الأحمر الإشارة $s(t) + U_0$.

حدد U_0 وS_m وسع الإشارة المضمّنة.

2 - قارن بين S_m و U_0 . ماذا تستنتج ؟

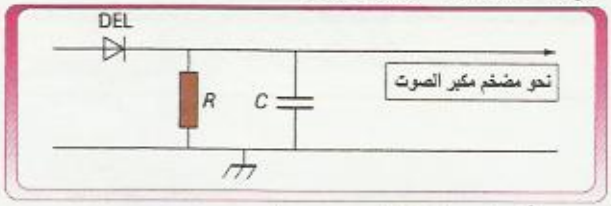
3 - ما القيمة الدنيا للتوتر U_0 لتفادي ظاهرة فرط التضمين .

أجوبة : 1 - $U_0 = 1V$, $S_m = 2V$ **2 -** $m = \frac{S_m}{U_0} = 2 > 1$.

3 - $U_{0\,min} = 2V$.

7 إزالة التضمين :

تتكون دارة إزالة التضمين لجهاز الراديو من صمام ثنائي وكاشف غلاف RC مكون من موصل أومي مقاومته R ومكثف سعته $C=10\,nF$. متوسط تردد الموجات الصوتية هو 1 kHz ويلتقط مستقبل موجات الراديو موجات ترددها 164 kHz .



1 - بين أن الجداء RC يعبر عن زمن .

2 - من بين المقاومات التالية، حدد قيمة R للحصول على موجات صوتية ذات جودة جيدة .

200 kΩ ؛ 20 kΩ ؛ 1 kΩ ؛ 100 Ω

جواب : 2 - 20 kΩ

تمارين توليفية

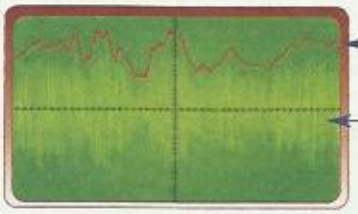
8 مستقبل الراديو :

أنجز تلميذ مستقبلا " راديو AM "بسيطا مضبوطا على 164 kHz يمكّن من الاستماع إلى إذاعة France inter، حيث تم إنجاز المراحل التالية :

نحو مكبر الصوت ← إزالة تضمين ← تضخيم ← استقبال

بواسطة راسم تذبذب ذاكراتي نسجل :

- على المدخل A ؛ التوتر عند مخرج مرحلة الاستقبال .
- على المدخل B ؛ توتر الخروج من مرحلة إزالة التضمين فنحصل على الشكل التالي :



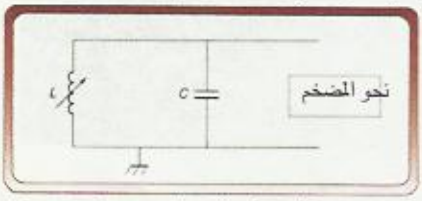
I - تضمين الوسع :

1 - بين أن الشكل المحصّل على شاشة راسم التذبذب يدل على عملية تضمين الوسع .

2 - نعتبر الإشارات التالية : إشارة مضمّنة، إشارة مضمّنة، إشارة مزالة التضمين، إشارة حاملة غير مضمّنة . ما الاشارة المعاينة على كل من المدخلين A و B لراسم التذبذب؟

II - استقبال موجات الراديو :

استعمل لهذا الغرض وشيعة معامل تحريضها الذاتي L قابل للضبط ومقاومتها مهملة ومكثف سعته $C = 0{,}47\,nF$ مركبين كالتالي :



1 - اعط تعبير التردد الخاص لهذه الدارة .

2 - حدد قيمة L التي تمكن من انتقاء موجات France inter .

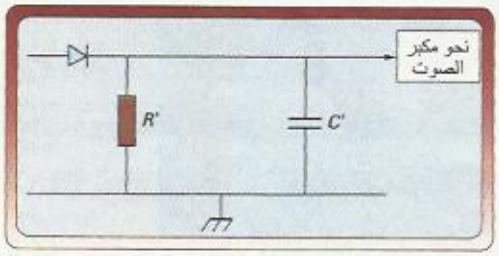
3 - أحسب دور الإشارة الحاملة . للتحقق مبيانيا من قيمته، حدد الحساسية اللازم اختيارها من بين القيم التالية:

1 μs/div - 100 μs/div - 1 ms/div - 1s/div

4 - يشار في بعض أجهزة الراديو إلى محطة إرسال France inter بالقيمة 1827 m . ما المقدار الفيزيائي الذي تمثله هذه القيمة ؟

III - إزالة التضمين :

استعمل لهذا الغرض صمام ثنائي وموصل أومي مقاومته $R' = 15k\Omega$ ومكثف سعته C' .



1 - ثنائي القطب(R',C') هو كاشف الغلاف . بين أن الجداء R'C' يدل على زمن .

2 - ما الشرط الذي يجب أن يحققه الجداء R'C' للحصول على إزالة تضمين جيدة ؟

3 - متوسط تردد الموجات الصوتية هو 1 kHz.

من بين السعات التالية :

10 pF ؛ 100 pF ؛ 1 nF ؛ 10 nF ؛ 100 nF ؛ 1 μF ؛ 10 μF

حدد السعة C' التي تحقق شرط الحصول على إزالة تضمين جيدة .